

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI SUHU
UNTUK OPTIMALISASI DAYA PANEL SURYA
MENGUNAKAN LOGIKA *FUZZY***

SKRIPSI

KEMINATAN TEKNIK KOMPUTER

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:
Wifki Ato'ur Rochim
NIM: 125150300111010



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI SUHU UNTUK OPTIMALISASI DAYA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN LOGIKA *FUZZY*

SKRIPSI

KEMINATAN TEKNIK KOMPUTER

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :
Wifki Ato'ur Rochim
NIM: 125150300111010

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
3 Agustus 2018
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Wijaya Kurniawan, S.T, M.T
NIP: 19820125 201504 1 002

Sabriansyah Rizqika A., S.T., M.Eng.
NIP: 19820809 201212 1 004

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Tri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D
NIP: 19710518 200312 1 001

IDENTITAS PENGUJI

1. Dosen Penguji 1
Dahnial Syauqy, S.T., M.T., M.Sc.
NIP: 2016078704231002
2. Dosen Penguji 2
Budi Darma Setiawan, S.Kom, M.Cs
NIP: 19841015 201404 1 002



PERNYATAAN ORISINALITAS

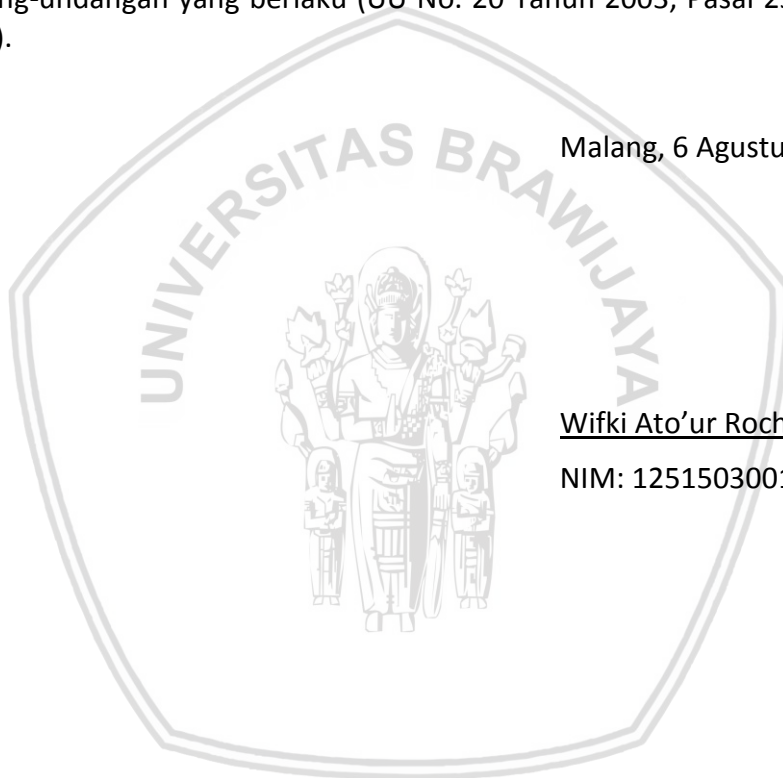
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 6 Agustus 2018

Wifki Ato'ur Rochim

NIM: 125150300111010



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Wifki Ato'ur Rochim

Tempat, tanggal lahir : Malang, 24 Desember 1994

Alamat : Dsn. Patuk, RT25 RW10, Desa Sukolilo,
Kecamatan Wajak, Kabupaten Malang

Riwayat Pendidikan :

- SDN Sananrejo 3, Turen (2000-2006)
- SMPN 1 Wajak, Wajak (2006-2009)
- SMK Tamansiswa Kediri, Kediri (2009-2012)
- S1 Teknik Informatika Universitas Brawijaya (2012-2018)

No. Telepon : 081555888446

E-mail : wifki.ar.94@gmail.com

Pengalaman Kepanitiaan :

- Staf Divisi Perlengkapan, KPHMSK (2013)
- Anggota Divisi Transkoper, Ramadhan Corner (2014)
- Anggota Divisi Transkoper, PASION (2014)

Pengalaman Organisasi :

- Staf Departemen Sosial Masyarakat, EMSK (2016)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang selama ini telah mendukung dan membantu dalam proses penelitian skripsi. Kepada dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberikan masukan berharga bagi skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman di kampus yang telah memberikan dukungan serta berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala perjuangan dan jerih payah yang telah dilakukan bisa memberi manfaat bagi banyak orang.

Malang, 2018

Penulis

wifki.ar.94@gmail.com



ABSTRAK

Wifki Ato'ur Rochim, Perancangan Sistem Pengendali Suhu Untuk Optimalisasi Daya Panel Surya Menggunakan Logika *Fuzzy*

Pembimbing: Wijaya Kurniawan, S.T., M.T. dan Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng.

Energi matahari bisa dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang potensial. Pemanfaatan energi matahari salah satunya adalah pemanfaatan panel surya yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Di dalam penggunaannya panel surya memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan dalam mengkonversi energi matahari, salah satu faktor yang berpengaruh adalah suhu dari panel tersebut. Energi listrik yang dihasilkan panel akan lebih optimal apabila panel berada pada suhu 25 °C atau dibawahnya.

Untuk optimalisasi konversi energi matahari yang dilakukan oleh panel surya, diperlukan sistem untuk mengendalikan suhu agar panel tetap berada pada suhu normal. Dalam memenuhi kebutuhan tersebut penulis merancang sebuah sistem yang terdiri dari dua buah sensor suhu LM35 yang dipasang pada bagian bawah panel dan sebuah motor DC sebagai kipas atau pendingin panel. Sebagai mikrokontroler digunakan Arduino Uno dengan program logika *fuzzy* didalamnya untuk menentukan kecepatan putaran kipas mengacu pada hasil dari pengambilan nilai suhu oleh sensor suhu. Logika *fuzzy* dipilih karena mempunyai kelebihan dibanding metode-metode lainnya, yaitu mudah dimengerti, fleksibel, memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat, mampu memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang kompleks, dapat bekerja sama dengan teknik-teknik pengendalian konvensional, serta memberikan pengendalian yang sangat baik. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa sistem ini dapat mengoptimalkan pendinginan suhu dari panel surya sebesar 9 menit 22 detik bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan sistem pengendali suhu.

Kata kunci: panel surya, suhu, logika *fuzzy*, arduino, sensor suhu, motor DC.

ABSTRACT

Wifki Ato'ur Rochim, Designing a Temperature Control System for Optimizing Solar Panel Power Using Fuzzy Logic

Mentor: Wijaya Kurniawan, S.T., M.T. and Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng.

Solar energy can be used as a potential alternative energy. One of them is the usage of solar panels that can convert sunlight into electrical energy. In the use of solar panels have several factors that can affect the ability to convert solar energy, one influencing factor is the temperature of the panel. Electrical energy generated by the panel will be more optimal if the panel is at 25 °C or below.

For the solar panel's energy conversion optimization, required a system that can control the temperature so the panel stays at normal temperature. To fulfill that requirement the author designed a system consisting of two LM35 temperature sensors mounted on the bottom of the panel and a DC motor as a fan or panel cooler. Arduino Uno used as a microcontroller with fuzzy logic program therein to determine the speed of fan rotation refers to the result of temperature captured by temperature sensor. Fuzzy logic is chosen because it has advantages over other methods, which are easy to understand, flexible, tolerant of improper data, capable of modeling complex nonlinear functions, able to work with conventional control techniques, and provide excellent control. From the results of tests that have been done found that this system can optimize temperature cooling of the solar panel by 9 minutes 22 second compared without using temperature control system.

Keywords: solar panel, temperature, fuzzy logic, arduino, temperature sensor, DC motor.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya yang bertindak sebagai penulis bisa menyelesaikan skripsi sebagai langkah untuk mendapatkan gelar sarjana komputer. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurah kepada nabi besar Muhammad SAW beserta sahabat dan seluruh umatnya.

Didalam penulisan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, do'a, serta semangat dari berbagai pihak. Pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Ibu Siti Alimah dan Ibu Siti Mahmudah sebagai orang tua yang selalu memberi dukungan moral dan materiil kepada penulis.
2. Bapak Wijaya Kurniawan, S.T, M.T dan Bapak Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing yang memberikan bantuan dan bimbingan dalam penyelesaian laporan dan seluruh rancangan sistem.
3. Kawan-kawan khususnya Manto, Candot, Gopras, Abah Wildan, segenap crew ngopi kopma, serta dulur-dulur Sistem Komputer yang tidak terlalu membantu dan menghambat pengerjaan skripsi ini.
4. Seluruh pihak yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam membantu pengerjaan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis sadar bahwa isi maupun penulisan dalam laporan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu diharapkan adanya kritik dan juga saran ataupun pengembangan yang dapat menambal segala kekurangan sehingga bermanfaat untuk ilmu pengetahuan dan hidup seluruh umat manusia.

Malang, 2018

Penulis

wifki.ar.94@gmail.com

DAFTAR ISI

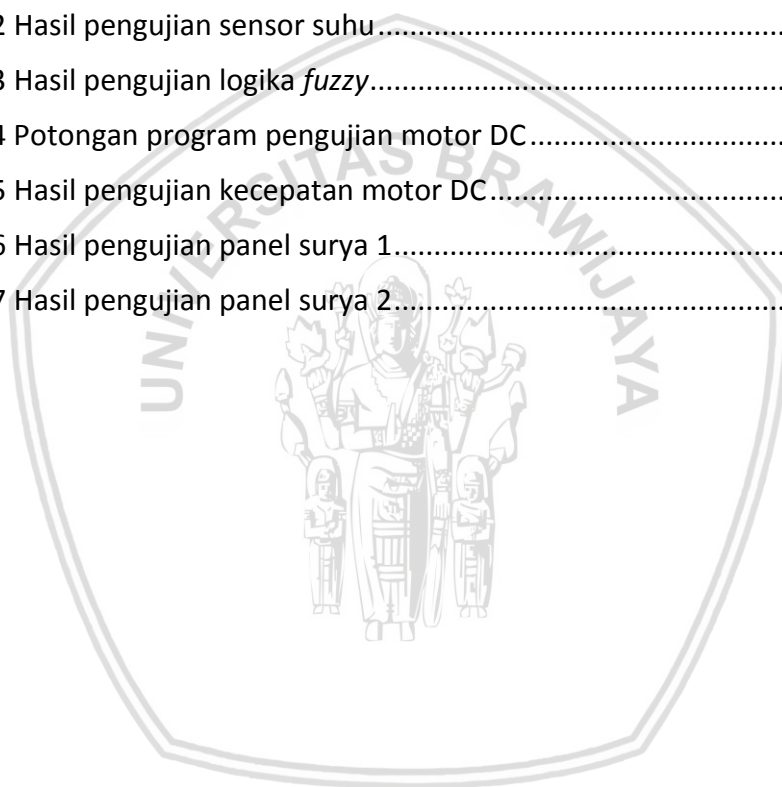
PENGESAHAN	ii
IDENTITAS PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Panel Surya.....	6
2.2.2 Sensor Suhu LM35.....	7
2.2.3 Arduino Uno	8
2.2.4 <i>Driver</i> Motor DC	11
2.2.5 Motor DC.....	12
2.2.6 <i>Pulse Width Modulation</i>	13
2.2.7 Logika <i>Fuzzy</i>	13
2.2.8 Sistem Kendali	20

BAB 3 METODOLOGI	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Perancangan Sistem	22
3.2.1 Blok Diagram Sistem	22
3.3 Implementasi Sistem	22
3.4 Pengujian Sistem	22
3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran	23
BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN	24
4.1 Deskripsi Umum	24
4.1.1 Perspektif Sistem	24
4.1.2 Ruang Lingkup	24
4.1.3 Karakteristik Pengguna	24
4.1.4 Lingkungan Operasi Sistem	24
4.1.5 Batasan Perancangan dan Implementasi	24
4.1.6 Asumsi dan Ketergantungan	25
4.2 Rekayasa Kebutuhan	25
4.2.1 Kebutuhan Fungsional Sistem	25
4.2.2 Kebutuhan Non-fungsional Sistem	25
BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	26
5.1 Perancangan Sistem	26
5.1.1 Perancangan Perangkat Keras	26
5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak	29
5.2 Implementasi Sistem	33
5.2.1 Implementasi Perangkat Keras	33
5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak	36
BAB 6 PENGUJIAN	41
6.1 Pengujian Sensor Suhu	41
6.1.1 Tujuan Pengujian Sensor Suhu	41
6.1.2 Prosedur Pengujian Sensor Suhu	41
6.1.3 Hasil Pengujian Sensor Suhu	42
6.1.4 Analisis Pengujian Sensor Suhu	42
6.2 Pengujian Logika Fuzzy	42

6.2.1 Tujuan Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	42
6.2.2 Prosedur Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	42
6.2.3 Hasil Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	43
6.2.4 Analisis Pengujian Logika <i>Fuzzy</i>	44
6.3 Pengujian Motor DC	44
6.3.1 Tujuan Pengujian Motor DC.....	44
6.3.2 Prosedur Pengujian Motor DC	45
6.3.3 Hasil Pengujian Motor DC	46
6.3.4 Analisis Pengujian Motor DC.....	46
6.4 Pengujian Sistem	46
6.4.1 Tujuan Pengujian Sistem	46
6.4.2 Prosedur Pengujian Sistem	46
6.4.3 Hasil Pengujian Sistem	47
6.4.4 Analisis Pengujian Sistem	49
BAB 7 PENUTUP	50
7.1 Kesimpulan	50
7.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN A Kode Sumber	54

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Daftar pin yang digunakan	27
Tabel 5.2 <i>Rule base</i> motor DC.....	32
Tabel 5.3 Potongan program fuzzifikasi.....	37
Tabel 5.4 Potongan program inferensi <i>fuzzy</i>	38
Tabel 5.5 Potongan program defuzzifikasi.....	39
Tabel 5.6 Potongan program utama	40
Tabel 6.1 Potongan program pengujian sensor suhu	41
Tabel 6.2 Hasil pengujian sensor suhu.....	42
Tabel 6.3 Hasil pengujian logika <i>fuzzy</i>	43
Tabel 6.4 Potongan program pengujian motor DC.....	45
Tabel 6.5 Hasil pengujian kecepatan motor DC.....	46
Tabel 6.6 Hasil pengujian panel surya 1.....	47
Tabel 6.7 Hasil pengujian panel surya 2.....	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel surya	7
Gambar 2.2 Sensor suhu LM35	7
Gambar 2.3 Arduino Uno	8
Gambar 2.4 Pemetaan pin ATmega168	10
Gambar 2.5 <i>Driver</i> motor L298N.....	11
Gambar 2.6 Motor DC.....	12
Gambar 2.7 <i>Pulse Width Modulation</i>	13
Gambar 2.8 Representasi kurva linear naik	15
Gambar 2.9 Representasi kurva linear turun	15
Gambar 2.10 Representasi kurva segitiga	16
Gambar 2.11 Representasi kurva trapesium	16
Gambar 2.12 Sistem pengambilan keputusan	17
Gambar 2.13 Diagram blok sistem kendali otomatis.....	20
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian	21
Gambar 3.2 Blok diagram sistem	22
Gambar 5.1 Skematik diagram sistem	26
Gambar 5.2 Sistem kendali perangkat.....	28
Gambar 5.3 Penempatan sensor LM35	28
Gambar 5.4 Penempatan motor DC.....	29
Gambar 5.5 Diagram alir sistem.....	30
Gambar 5.6 Fungsi keanggotaan <i>input</i>	31
Gambar 5.7 Fungsi keanggotaan defuzzifikasi	33
Gambar 5.8 Rangkaian sensor	34
Gambar 5.9 Rangkaian aktuator	34
Gambar 5.10 Rangkaian <i>prototype</i> sistem.....	35
Gambar 5.11 Rangkaian <i>hardware</i> keseluruhan (samping)	36
Gambar 5.12 Rangkaian <i>hardware</i> keseluruhan (bawah)	36

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Kode Sumber	54
A.1 Kode Sumber Program	54



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era modernisasi dan globalisasi, sarana-sarana penunjang tidak dapat dipisahkan dengan aspek kehidupan, dan sarana-sarana tersebut memerlukan energi untuk dapat beroperasi atau bekerja. Dalam penggunaan sebuah energi diperlukan suatu kebijakan atau pengaturan yang terencana dan lebih baik yang biasa disebut sebagai konservasi energi. Konservasi energi adalah pemanfaatan energi yang diikuti dengan usaha-usaha untuk menemukan teknologi baru, serta memanfaatkan sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (misalnya sinar matahari, panas bumi, dll.). Bila dilihat dari penggunaan energi belakangan ini, sumber dari penggunaan energi dunia masih sangat bergantung pada energi fosil, yaitu energi yang tidak dapat diperbarui lagi dan pada suatu hari akan habis. Habisnya sumber energi fosil ini disebabkan karena pengeksplorasian secara besar-besaran dan tidak sebanding dengan waktu pembentukan energi fosil tersebut.

Dalam upaya untuk menemukan sumber energi alternatif, sebaiknya memenuhi beberapa syarat yaitu dapat menghasilkan energi yang cukup besar, ramah lingkungan, dan ekonomis. Indonesia adalah salah satu negara yang berada di kawasan garis khatulistiwa, dan selalu mendapatkan intensitas cahaya matahari yang lebih banyak dibandingkan dengan kawasan selain khatulistiwa. Berdasarkan pertimbangan tersebut, upaya untuk menemukan sumber energi alternatif diarahkan ke sumber energi dari matahari. Energi matahari (dalam hal ini adalah cahaya) dapat dimanfaatkan sebagai salah satu energi alternatif yang sangat potensial, terutama dilihat dari sumbernya yang memancarkan energi yang sangat besar dan tidak bisa habis selama dunia masih berputar. Selain itu, energi matahari dapat menjadi harapan untuk dimanfaatkan sebagai energi listrik yang ramah lingkungan dan dapat menghambat laju dari pemanasan global yang selama ini menjadi perhatian tersendiri dari seluruh penduduk dunia.

Alat yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik disebut panel surya (*photovoltaic*). Daya yang dihasilkan panel surya bergantung pada suhu panel, radiasi *solar*, keadaan atmosfer bumi, orientasi panel surya, serta letak panel surya terhadap matahari (Muchammad, Yohana, & Herianto, 2010). Dalam hal ini, penulis berfokus pada pengendalian suhu dari panel surya tersebut. Sebagaimana suhu panel surya meningkat di atas standar suhu normal 25 °C, tingkat efisiensi dari panel surya dan tegangan akan berkurang (Panel Surya, 2018). Aliran elektron akan terhambat oleh panas, karena panas merupakan hambatan listrik dalam kasus ini. Maka dari itu diperlukan suatu sistem untuk menghilangkan panas yang menyebabkan suhu panel surya meningkat atau melebihi batas normal.

Sistem ini dirancang untuk mengendalikan suhu agar daya yang dihasilkan panel surya tetap optimal dengan menggunakan kipas sebagai pendingin dan menggunakan pembacaan dari sensor suhu yang akan diproses di mikrokontroler.

Logika *fuzzy* digunakan sebagai metode untuk pengambilan keputusannya. Logika *fuzzy* adalah logika dengan konsep kebenaran sebagian, dimana dalam logika klasik segala hal dapat di ekspresikan dengan istilah biner (0 atau 1). Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan berada diantara 0 dan 1. Berbagai teori didalam perkembangan logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memodelkan berbagai sistem (Ramdhani, 2012). Beberapa kelebihan dari logika *fuzzy* dibanding metode-metode lainnya adalah mudah dimengerti, sangat fleksibel, mempunyai toleransi kepada data-data yang tidak terlalu tepat, mampu untuk digunakan sebagai model dari fungsi-fungsi non-linear yang rumit, bisa bekerja secara beriringan dengan teknik pengendalian konvensional, serta memberikan pengendalian yang sangat baik dibanding metode lain (Saelan, 2009).

Untuk penggerak dari keluaran logika *fuzzy*, maka digunakan motor DC. Motor DC adalah suatu motor listrik yang membutuhkan suplai tegangan arus searah (*DC current*) pada kumparan medan untuk merubah energi dari energi listrik kedalam energi gerak mekanik. Kelebihan dari motor DC ini adalah ia tidak mempengaruhi kualitas suplai daya. Motor DC juga banyak digunakan karena dapat disesuaikan untuk menerima sinyal digital untuk mengendalikan kecepatan melalui metode PWM atau juga disebut *Pulse Width Modulation*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang penulis dapatkan dari latar belakang tersebut, adalah:

1. Bagaimana cara dari sistem untuk mendeteksi suhu dari panel surya berdasarkan sensor suhu?
2. Bagaimana merancang sistem yang dapat mengendalikan suhu dari panel surya menggunakan logika *fuzzy*?
3. Bagaimana sistem menentukan kecepatan putaran dari motor DC berdasarkan hasil keluaran logika *fuzzy*?
4. Seberapa besar tingkat optimalisasi waktu pendinginan suhu panel surya apabila menggunakan sistem pengendali suhu dibandingkan dengan tanpa menggunakan sistem pengendali suhu.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulis membuat penelitian ini didasarkan dari rumusan masalah yang sudah didapatkan, adapun tujuannya adalah:

1. Menentukan suhu dari panel surya berdasarkan sensor suhu.
2. Merancang sebuah sistem yang dapat mengendalikan suhu panel surya menggunakan logika *fuzzy*.
3. Menentukan kecepatan putaran dari motor DC berdasarkan hasil keluaran logika *fuzzy*.

4. Menentukan optimalisasi waktu pendinginan suhu panel surya apabila menggunakan sistem pengendali suhu dibandingkan dengan tidak menggunakan sistem pengendali suhu.

1.4 Manfaat

1. Diharapkan kemampuan kerja dari panel surya dapat dioptimalkan dengan adanya penelitian dan perancangan sistem pengendali suhu ini.
2. Bagi masyarakat pada umumnya bermanfaat di dalam upaya untuk mengatasi masalah sumber energi terutama di dalam pencarian maupun pengoptimalan sumber energi alternatif.
3. Bagi penulis bermanfaat untuk mengimplementasikan ilmu yang didapatkan selama di perkuliahan dan sebagai rujukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang mengangkat tema pengoptimalan panel surya.

1.5 Batasan Masalah

1. Hanya menggunakan 2 buah sensor suhu LM35 yang ditempatkan pada bagian bawah dari panel, hal ini agar sensor tidak terpapar sinar matahari secara langsung yang dapat mengakibatkan suhu sensor meningkat tajam.
2. Aktuator hanya berupa motor DC yang difungsikan sebagai kipas untuk mendinginkan panel surya.
3. Penentuan *rule base* logika *fuzzy* ditentukan sendiri oleh penulis.
4. Diasumsikan kondisi cuaca dalam keadaan cerah.
5. Satu kali pengujian dibatasi maksimal menggunakan waktu 20 menit untuk mengamati perubahan suhu, karena pada saat memasuki menit ke-20 perubahan suhu yang terjadi sangat kecil atau bahkan tidak ada perubahan suhu..

1.6 Sistematika Pembahasan

Adapun struktur dari penelitian ini terdiri atas 7 bab, bab-bab tersebut yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab 1 atau pendahuluan ini menjelaskan tentang latar belakang dari penulis karena mengangkat tema pengendalian suhu panel surya sebagai topik maupun judul penelitian, rumusan masalah yang didapatkan, tujuan dan manfaat yang didapatkan dari penelitian, dan juga batasan-batasan masalah yang ada di dalam penelitian ini.

BAB II : LANDASAN KEPUSTAKAAN

Bab 2 atau landasan kepastakaan ini menjelaskan tentang dasar teori dari alat-alat ataupun program-program yang digunakan untuk merancang sistem sebagai landasan dalam penelitian ini. Dijelaskan juga

tentang penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya dan menjadi referensi dari topik penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI

Bab 3 atau metodologi ini menjelaskan tentang sistematika penyelesaian masalah dari penelitian ini, yaitu metode penelitian, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem pengendali suhu panel surya.

BAB IV : REKAYASA KEBUTUHAN

Bab 4 atau rekayasa kebutuhan ini menjelaskan tentang analisa dari alat, program, maupun kondisi yang dibutuhkan dalam penelitian ini, termasuk juga dengan kebutuhan dari sisi pengguna maupun sistem, kebutuhan perangkat keras maupun perangkat lunak, serta kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari sistem pengendali suhu panel surya ini.

BAB V : PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab 5 atau perancangan dan implementasi ini menjelaskan tentang bagaimana alur perancangan maupun implementasi dari sistem pengendali suhu ini, terdapat juga skematik diagram dan diagram blok dari sistem pengendali suhu ini, alur kerja sistem, aturan-aturan *fuzzy* yang digunakan, serta perancangan dari sistem ini.

BAB VI : PENGUJIAN

Bab 6 atau pengujian ini menjelaskan tentang apa dan bagaimana pengujian yang dilakukan dalam sistem pengendali suhu panel surya ini.

BAB VII : PENUTUP

Bab 7 atau penutup ini berisikan tentang kesimpulan-kesimpulan apa saja yang penulis peroleh dari penelitian ini serta juga terdapat saran-saran dari penulis yang ditujukan untuk penelitian kedepannya yang mengangkat tema optimalisasi panel surya.

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Kajian Pustaka

Setelah penulis melakukan beberapa kali studi literatur, maka didapatkan sejumlah penelitian yang mempunyai tema yang saling berkaitan dan mendasari penulis untuk melakukan penelitian ini, pustaka-pustaka tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

1. Muchammad, Yohana, E., dan Heriyanto, B., 2010. *Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 0°, 50°, 60°, 70°, 80°*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Penelitian ini menguji modul panel surya (*photovoltaic*) tanpa reflektor dengan posisi yang tetap, dan pengukuran terhadap modul panel surya yang diberi reflektor dengan variasi sudut 50°, 60°, 70°, 80°. Hasil dari pengujian pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa kenaikan suhu dari panel surya diiringi dengan kenaikan daya dan efisiensi. Perbedaan yang penulis dapatkan dari penelitian tersebut adalah pada penelitian tersebut mengatur sudut dari *reflektor* yang dihadapkan dengan panel surya dan menghitung peningkatan suhu serta efisiensinya, sedangkan penelitian ini ditujukan untuk mengendalikan suhu dari panel surya menggunakan logika *fuzzy* serta menghitung optimalisasi waktu penurunan suhu dari panel saat menggunakan sistem pengendali suhu dan tidak menggunakan sistem pengendali suhu.

2. Afifudin, F., dan Hananto, F.S., 2012. *Optimalisasi Tegangan Keluaran dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Penelitian tersebut bertujuan untuk mencari tahu seberapa besarkah pengaruh dari penggunaan lensa terhadap kenaikan nilai intensitas cahaya dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya, panel surya merupakan konverter energi cahaya menjadi energi listrik. Dalam penelitian tersebut, panel surya yang digunakan adalah panel surya yang berjenis *amorphous* dan *polycrystal*. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan beberapa metode yaitu mengukur nilai intensitas cahaya, tegangan, dan arus dari panel surya, kemudian menghitung nilai daya serta efisiensi dari panel surya lalu membandingkan nilainya antara panel surya yang menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari dengan panel surya yang tidak menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari. Perbedaan yang penulis dapatkan dari penelitian tersebut adalah pada penelitian tersebut menghitung efisiensi dari panel surya saat menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari dan saat tidak menggunakan lensa pemfokus cahaya matahari, sedangkan penelitian ini ditujukan untuk mengendalikan suhu dari panel surya menggunakan logika *fuzzy* serta menghitung optimalisasi

- waktu penurunan suhu dari panel saat menggunakan sistem pengendali suhu dan tidak menggunakan sistem pengendali suhu.
- Putri, S.I., Suyono, H., dan Hasanah, R.N., 2014. *"Rancang Bangun dan Optimasi Panel Surya Berpenjejak dengan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno"*, Jurnal EECCIS Vol. 8, No. 1, Juni 2014.

Penelitian ini mengenai implementasi dari logika *fuzzy* pada panel surya berpenjejak dan untuk mengatur posisi panel surya menggunakan motor DC. Fuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan metode Takagi-Sugeno. Algoritma pengendalian diimplementasikan kedalam mikrokontroler ATmega 128 serta menggunakan program BASCOM-AVR. Dari hasil penelitian, ditemukan adanya peningkatan tegangan dari keluaran sensor panel surya (VOut) sebesar 0,40 V dibandingkan dengan panel surya yang tidak menggunakan perhitungan logika *fuzzy*. Validasi dari hasil perhitungan logika *fuzzy* menggunakan metode Takagi-Sugeno yang dilakukan dengan cara membandingkannya dengan metode Tsukamoto menunjukkan adanya perbedaan hasil pengujian tegangan dari keluaran sensor sel surya yang tidak terlalu signifikan, namun komputasi dari metode Takagi-Sugeno lebih efisien karena memanfaatkan penggabungan dua keluaran perhitungan logika *fuzzy* sekaligus, dibandingkan dengan metode Tsukamoto yang melakukan perhitungan pada keluaran *fuzzy* satu per satu. Perbedaan yang penulis dapatkan dari penelitian tersebut adalah pada penelitian tersebut menghitung efisiensi dari panel surya dengan menggunakan motor DC sebagai pengatur posisi dari panel surya serta membandingkan hasil keluaran saat menggunakan logika *fuzzy* metode Tsukamoto dengan metode Takagi-Sugeno, sedangkan penelitian ini ditujukan untuk mengendalikan suhu dari panel surya menggunakan logika *fuzzy* serta menghitung optimalisasi waktu penurunan suhu dari panel saat menggunakan sistem pengendali suhu dan tidak menggunakan sistem pengendali suhu.

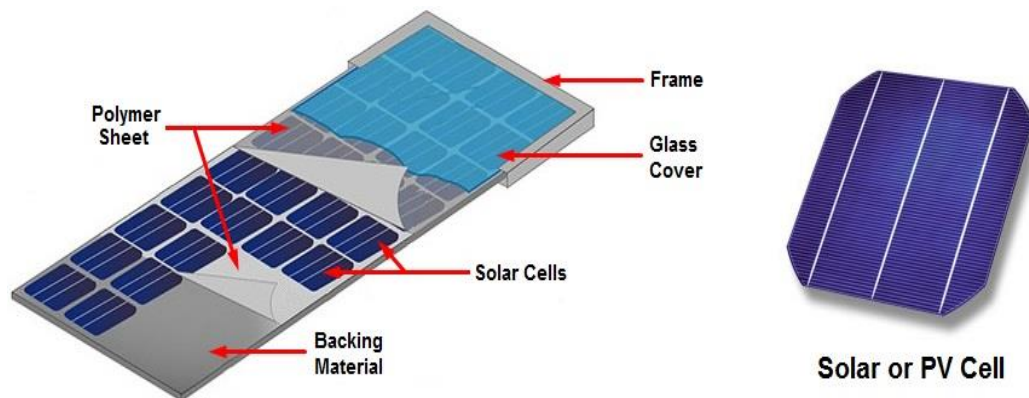
2.2 Dasar Teori

Didasarkan dari beberapa kajian pustaka yang ada, maka terdapat sejumlah dasar-dasar teori yang akan dibahas dan digunakan sebagai pengetahuan untuk mendukung perancangan sistem, yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Panel Surya

Panel surya (*photovoltaic*) adalah suatu perangkat yang mampu mengubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan perbedaan tegangan akibat efek fotoelektrik. Panel surya terdiri dari 3 lapisan utama, yaitu lapisan panel atas atau yang biasa disebut panel P, lapisan panel bawah atau yang biasa disebut panel N, dan lapisan pembatas yang berada di tengah kedua lapisan P dan N. Efek fotoelektrik sendiri adalah dimana sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, sehingga menyebabkan proton mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah. Perpindahan proton ini adalah arus listrik.

Bahan baku dari panel surya biasanya menggunakan semikonduktor seperti *silicon*, *cadmium telluride*, dan *gallium arsenide* atau *copper indium deselenide*. Jenis *crystalline* biasanya digunakan secara luas untuk pembuatan panel surya. Gambar 2.1 dibawah ini adalah konstruksi secara umum dari dari panel surya.



Gambar 2.1 Panel surya

Sumber: Panel Surya (2018)

2.2.2 Sensor Suhu LM35

Sensor suhu LM35 adalah suatu perangkat elektronika yang berbentuk *chip IC* dan juga memiliki 3 kaki yang fungsinya adalah sebagai pengubah suatu besaran fisis, berupa temperatur di sekitar sensor menjadi suatu besaran elektris dalam bentuk perubahan tegangan. Sensor suhu LM35 ini memiliki parameter yaitu untuk setiap kenaikan 1 °C tegangan keluarannya akan naik sebesar 10 mV dengan batas maksimal keluaran dari sensor ini adalah 1,5 V pada suhu 150 °C. Gambar 2.2 dibawah ini adalah bentuk fisik dari sensor suhu LM35.



Gambar 2.2 Sensor suhu LM35

Sumber: Texas Instrument (1999)

Sensor suhu LM35 ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Memiliki sensitivitas suhu dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu sebesar 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung kedalam satuan *celcius*.
2. Memiliki ketepatan kalibrasi yaitu 0,5 °C pada suhu 25 °C.
3. Memiliki jangkauan operasi suhu antara -55 °C sampai +150 °C.

4. Bekerja pada tegangan 4 Volt sampai 30 Volt.
5. Memiliki arus rendah (kurang dari 60 μ A).
6. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*low-heating*) (kurang dari 0,1 $^{\circ}$ C pada udara diam).
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah (0,1 Watt untuk beban 1 mA).
8. Memiliki ketidaklinieran yang rendah (sekitar $\pm \frac{1}{4} ^{\circ}$ C).

2.2.3 Arduino Uno

Arduino Uno adalah *developing board* berbasis mikrokontroler ATmega328P-20PU yang memiliki antarmuka Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Arduino Uno memiliki sebanyak 14 digital pin yang dapat digunakan berkomunikasi (pin *input/output*) secara digital, dengan 6 pin diantaranya dapat digunakan untuk memodulasi *output* PWM atau *pulse width modulation* (untuk mensimulasikan *output* analog), 6 pin *input* analog (yang didigitalisasi menggunakan *internal* ADC), *osilator* yang berkecepatan 16 MHz, colokan catu daya, konektor USB, tombol *reset*, dan *ICSP header*.

Arduino Uno dapat diaktifkan dengan cara menghubungkannya dengan PC melalui kabel USB, dapat juga dengan menancapkan adaptor atau baterai dengan tegangan diantara 7 V hingga 12 V. Gambar 2.3 dibawah ini adalah bentuk dari Arduino Uno yang digunakan.



Gambar 2.3 Arduino Uno

Sumber: Arduino (2017)

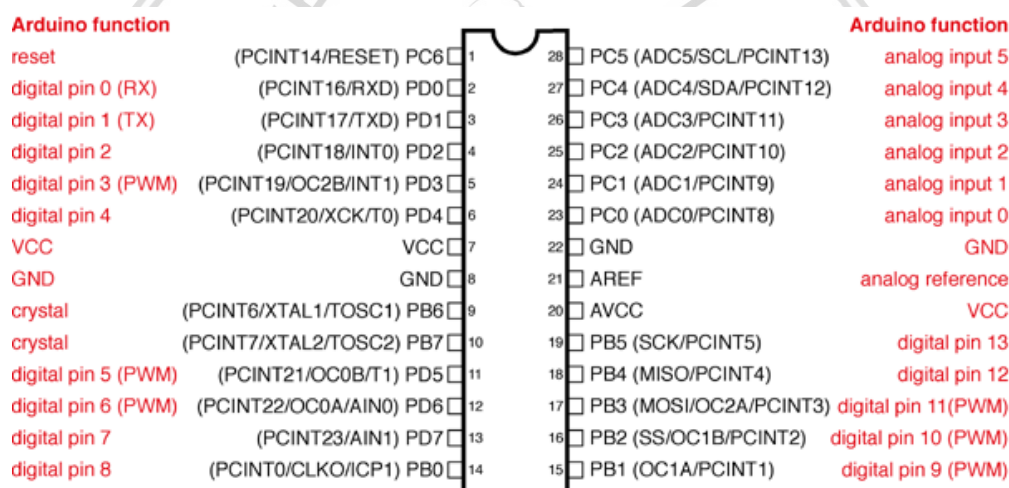
- Pin-pin tegangan yang terdapat di dalam papan Arduino Uno adalah:
 - **VIN** : *Input* tegangan untuk Arduino Uno ketika menggunakan sumber daya eksternal (digunakan sebagai “saingan” tegangan 5 Volt dari koneksi USB atau lainnya). Kita dapat memberikan tegangan melalui pin ini, ataupun bila kita menancapkan adaptor ke Arduino Uno melalui *jack power*, kita dapat mengaksesnya dengan melalui pin ini.

- **5V** : Pin ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 5 Volt, tegangan dari pin ini sudah diatur oleh regulator yang tersedia secara *built-in* pada Arduino Uno. Arduino Uno bisa rusak apabila kita memberikan tegangan melalui pin 5V atau 3v3 secara langsung atau tanpa melewati regulator terlebih dahulu.
 - **3V3** : Pin ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 3,3 Volt. Tegangan dari pin ini sudah diatur oleh regulator yang tersedia secara *built-in* pada Arduino Uno. Maksimum arus yang dapat dihasilkan pin ini sebesar 50 mA.
 - **GND** : Pin ini berfungsi sebagai massa (*ground*).
 - **IOREF** : Adalah sebuah pin yang memiliki fungsi sebagai pemberi referensi terhadap tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (*shield*) harus dikonfigurasi dengan benar agar dapat membaca pin tegangan pada IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan *voltage translator* pada *output* untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.
- Pin *Input-Output* yang tersedia pada papan Arduino Uno adalah:
- Dari 14 *digital pins* yang terdapat pada Arduino Uno, masing-masing pin beroperasi pada tegangan 5 Volt. Pin-pin tersebut dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Setiap pin mampu memberikan atau menerima arus maksimum sebesar 40 mA dan juga memiliki resistor *pull-up* internal (yang dapat terputus secara *default*) sebesar 20-50 kOhm. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi-fungsi khusus, yaitu:
- **Serial** : 0 (RX) dan 1 (TX). Pin yang terhubung dengan pin korespondensi dari *chip* ATmega8U2 *Serial USB-to-TTL* ini dapat digunakan untuk menerima (RX) atau mengirimkan (TX) TTL data *serial*.
 - **External Interrupt** : Pin 2 dan pin 3 ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
 - **PWM** : Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Pin ini menyediakan *output* PWM 8-bit melalui fungsi *analogWrite()*.
 - **SPI** : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI *library*.
 - **LED** : Pin 13. Pin yang digunakan sebagai LED tersedia secara *built-in* pada Arduino Uno dan terhubung ke pin digital 13. LED akan menyala pada saat di-set bernilai HIGH, dan akan padam pada saat di-set bernilai LOW.

Arduino Uno mempunyai 6 pin yang dapat digunakan untuk *input* analog, diberi label A0 sampai dengan A5, yang masing-masing dari pin tersebut tersedia resolusi sebesar 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara *default* pin-pin ini dapat diukur atau diatur dari mulai *Ground* sampai dengan 5 Volt, dan juga memungkinkan untuk dapat mengubah titik jangkauan tertinggi ataupun terendah mereka dengan menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference()*. Pin-pin dalam Arduino Uno memiliki fungsi khusus, yaitu:

- **AREF** : Pin ini adalah referensi tegangan yang digunakan untuk analog *input*. Dapat digunakan melalui fungsi *analogReference()*.
- **TWI** : Pin A4 (atau SDA) dan pin A5 (atau SCL). Pin ini dapat digunakan untuk berkomunikasi dari TWI dengan menggunakan *Wire library*.
- **RESET** : Berada pada jalur LOW. *Reset* digunakan untuk menghidupkan ulang mikrokontroler. Jalur inipun juga dapat dipergunakan sebagai tombol *reset* yang ditambahkan kedalam *shield* yang menghalangi Arduino Uno.

Gambar 2.4 dibawah ini adalah pemetaan pin pada ATmega168.



Digital Pins 11, 12 & 13 are used by the ICSP header for MOSI, MISO, SCK connections (Atmega168 pins 17, 18 & 19). Avoid low-impedance loads on these pins when using the ICSP header.

Gambar 2.4 Pemetaan pin ATmega168

Sumber: Arduino (2017)

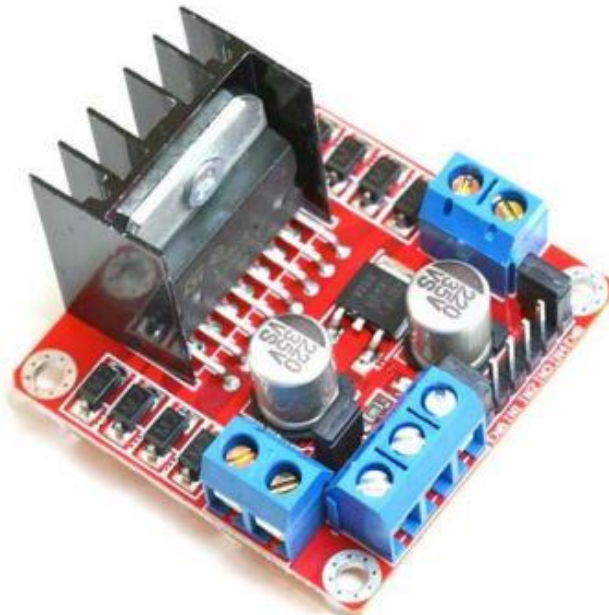
Spesifikasi Arduino Uno adalah sebagai berikut :

- Mikrokontroler: ATmega328P-20PU
- Tegangan operasional: 5 VDC
- Tegangan catu daya (bila menggunakan *DC Jack*): 7-12 V

- Pin digital (*Digital I/O*): berjumlah 14 pin (dengan 6 pin di antaranya berkapabilitas PWM)
- Pin *input* analog: berjumlah 6 pin (juga dapat digunakan sebagai pin digital tambahan)
- Arus maksimum per-pin I/O: 40 mA (maksimum total arus pada semua pin adalah 400 mA)
- Arus maksimum pada *output* tegangan 3v3: 50 mA
- Kapasitas memori program (*flashmemory*): 32 KB (di mana *bootloader* menggunakan 512 *bytes*).
- SRAM / RAM Statis : 2 Kb
- EEPROM : 1 Kb
- Kecepatan clock: 16 MHz

2.2.4 Driver Motor DC

Driver motor L298N adalah IC bertipe *H-Bridge* yang terdiri dari transistor-transistor logika (TTL) gerbang NAND. Gerbang ini fungsinya adalah untuk memudahkan sistem untuk menentukan arah putaran suatu motor. *Driver* ini dapat digunakan untuk mengendalikan beban-beban seperti *solenoid*, *relay*, motor *stepper* maupun motor DC. Kelebihan yang terdapat pada *driver* L298N ini adalah hal kepresisian di dalam mengendalikan motor. Gambar 2.5 dibawah ini adalah bentuk dari *driver* motor L298N.



Gambar 2.5 Driver motor L298N

Sumber: HandsOn Tech (2008)

Driver motor L298N memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Menggunakan IC L298N (*Double H-bridge Drive Chip*)
- Rentang tegangan untuk masukan antara 5-35 V
- Tegangan operasional 5 V
- Rentang arus untuk *input* antara 0-36 mA
- Maksimum arus untuk per *output* A maupun B yaitu 2 A
- Daya maksimal yaitu 25 W

2.2.5 Motor DC

Motor DC adalah suatu motor listrik yang membutuhkan suplai tegangan arus searah (*DC current*) pada kumparan medan untuk merubah energi dari energi listrik kedalam energi gerak mekanik. Kumparan jangkar pada motor DC disebut *rotor* (bagian yang berputar) dan kumparan medan disebut *stator* (bagian yang tidak berputar). Motor DC banyak digunakan sebagai penggerak dalam berbagai peralatan, baik lambat maupun cepat, kecil maupun besar. Motor DC juga banyak digunakan karena dapat disesuaikan untuk menerima sinyal digital untuk mengendalikan kecepatan melalui metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Gambar 2.6 dibawah ini adalah bentuk dari sebuah motor DC.



Gambar 2.6 Motor DC

Sumber: Adda (2008)

3 komponen utama agar motor DC bisa berputar, adalah:

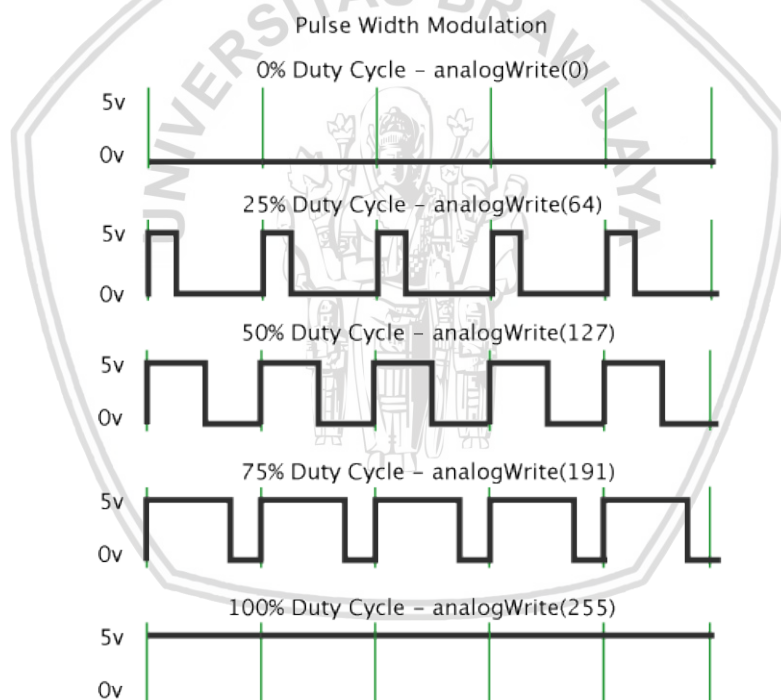
1. Kutub Medan. Motor DC memiliki dua kutub medan (kutub utara dan selatan). Garis magnetik energi membesar pada saat dialiri listrik, dan melintasi ruang kosong yang berada disela-sela kutub utara ke kutub selatan. Untuk motor DC yang lebih besar ataupun kompleks dapat memiliki satu atau lebih elektromagnet.
2. *Current Electromagnet* atau dinamo. Komponen ini mempunyai bentuk silinder, dan dihubungkan dengan as penggerak untuk dapat

menggerakkan beban. Pada kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar di dalam medan magnet yang terbentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan kutub selatan magnet berganti lokasi.

3. *Commutator*. Kegunaannya dari *commutator* adalah untuk transmisi arus antara sumber daya dan dinamo.

2.2.6 Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation atau biasa disebut dengan PWM adalah metode yang cukup efektif untuk digunakan sebagai pengendali kecepatan dari motor DC. Cara kerja PWM ini adalah dengan membuat gelombang sinyal persegi yang memiliki perbandingan sinyal *high* dengan sinyal *low* yang telah ditentukan, biasanya diskalakan dari 0 hingga 100%. Gelombang ini memiliki frekuensi yang tetap (biasanya *max* 10 KHz) namun lebar sinyal *high* dan sinyal *low* dalam 1 periode yang nantinya akan diatur. Perbandingan sinyal *high* dan sinyal *low* ini yang akan menentukan berapa jumlah daya yang diberikan ke motor DC. Gambar 2.7 dibawah ini adalah grafik dari PWM.



Gambar 2.7 Pulse Width Modulation

Sumber: Arduino (2017)

2.2.7 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah sebuah metodologi “berhitung” dengan *linguistic variable* (variabel kata-kata), sebagai pengganti bilangan dalam berhitung. Logika *fuzzy* merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing* yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Prof. Lotfi A. Zadeh, seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Berkeley.

Teori himpunan *fuzzy* adalah dasar dari logika *fuzzy*. Peranan derajat keanggotaan sebagai penentu dari keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting pada teori himpunan *fuzzy*. Ciri utama dari penalaran logika *fuzzy* adalah *membership function* atau nilai derajat keanggotaan.

a. Variabel Numerik dan Linguistik

Variabel adalah suatu kata atau lambang yang menunjukkan kepada sesuatu yang tidak tertentu di dalam semesta pembicaraannya. Suatu variabel dapat diganti dengan unsur-unsur di dalam semesta pembicaraannya. Dalam logika *fuzzy* terdapat 2 macam variabel, yaitu variabel linguistik dan variabel numerik.

Variabel linguistik adalah merupakan sebuah variabel yang semesta pembicaraannya berupa himpunan kata atau istilah yang digunakan sehari-hari. Misalnya: rendah, sedang, sedikit, tinggi, pendek, lambat, dan sebagainya. Variabel numerik merupakan suatu variabel dimana semesta pembicaraannya yaitu berupa himpunan bilangan-bilangan. Misalnya a adalah bilangan yang habis jika dibagi 2, maka variabel " a " adalah variabel numerik karena menunjuk sesuatu yang tidak tertentu di dalam semesta pembicaraannya yaitu himpunan bilangan.

b. Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* adalah suatu pengembangan yang lebih lanjut tentang konsep dari himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang dari nilai-nilai, dan masing-masing nilai tersebut mempunyai derajat keanggotaan antara 0 sampai dengan 1. Sebuah himpunan *fuzzy* X di dalam semesta pembicaraan Y dapat dinyatakan dengan fungsi keanggotaan μ_X , yang nilainya berada di dalam interval $[0,1]$, dapat dinyatakan dengan persamaan 2.1.

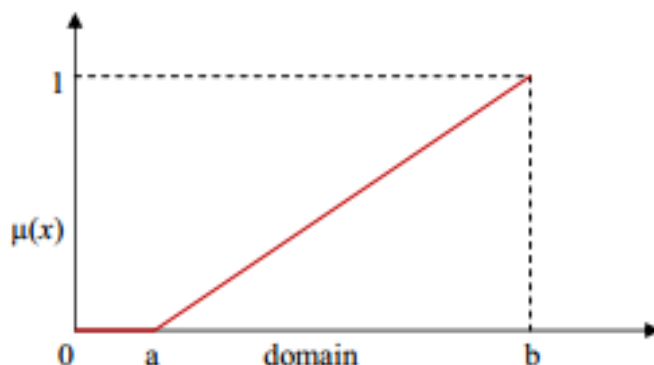
$$\mu_X : Y \rightarrow [0,1]. \quad (2.1)$$

Sebuah himpunan *fuzzy* X di dalam semesta pembicaraan Y dapat dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen a (a anggota Y) dengan derajat keanggotaannya dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2.

$$X = \{(u, \mu_X(u) \mid u \in Y\}. \quad (2.2)$$

Rentang total dari nilai yang diperbolehkan untuk diolah di dalam suatu variabel *fuzzy* disebut sebagai semesta pembicaraan. Rentang nilai yang diperbolehkan di dalam semesta pembicaraannya serta dapat diolah dalam suatu himpunan *fuzzy* disebut dengan domain *fuzzy*. Suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1 disebut dengan fungsi keanggotaan atau *membership function*. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan diantaranya adalah Kurva Linear, Kurva Segitiga, dan Kurva Trapezium. Untuk kurva linear, sebuah garis lurus digunakan sebagai pemetaan dari *input* kedalam derajat keanggotaannya.

1. Linear naik, adalah sebuah tingkat naik dalam himpunan yang bermula dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol [0] menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi. Gambar 2.8 dibawah ini adalah representasi dari linear naik.



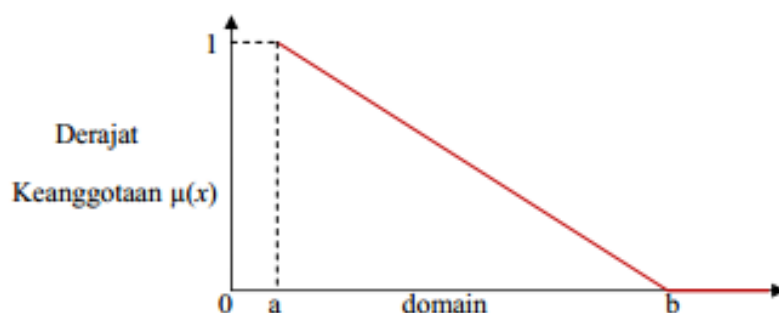
Gambar 2.8 Representasi kurva linear naik

Sumber: Solikin (2011)

Fungsi dari keanggotaan linear naik dapat dilihat dalam persamaan 2.3.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & : x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & : a < x \leq b \end{cases} \quad (2.3)$$

2. Linear turun, adalah sebuah tingkat turun yang bermula dari nilai domain dengan derajat keanggotaan paling tinggi menuju ke nilai domain yang lebih rendah. Gambar 2.9 dibawah ini adalah representasi dari linear turun.



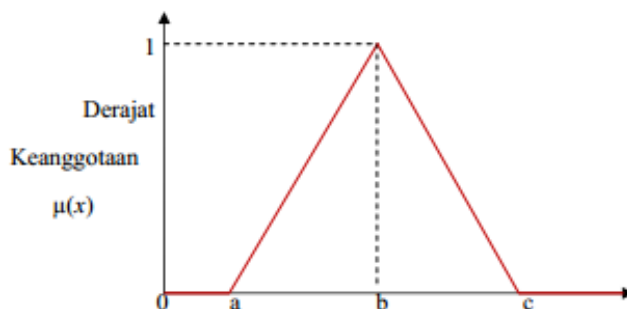
Gambar 2.9 Representasi kurva linear turun

Sumber: Solikin (2011)

Fungsi dari keanggotaan linear turun dapat dilihat dalam persamaan 2.4.

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{(b-x)}{(b-a)} & : a < x < b \\ 0 & : x \geq b \end{cases} \quad (2.4)$$

3. Kurva segitiga (merupakan gabungan dari kurva linear naik dan kurva linear turun). Gambar 2.10 dibawah ini adalah representasi dari kurva segitiga.



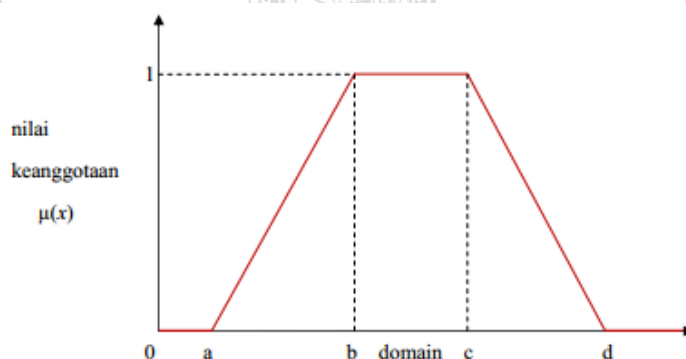
Gambar 2.10 Representasi kurva segitiga

Sumber: Solikin (2011)

Fungsi dari keanggotaan kurva segitiga dapat dilihat dalam persamaan 2.5.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & : x \leq a \text{ dan } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & : a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & : b < x < c \end{cases} \quad (2.5)$$

4. Kurva trapesium, kurva ini menyerupainya seperti kurva segitiga, namun ada beberapa titik yang bernilai derajat keanggotaan 1 (satu). Gambar 2.11 dibawah ini adalah representasi dari kurva trapesium.



Gambar 2.11 Representasi kurva trapesium

Sumber: Solikin (2011)

Fungsi dari keanggotaan kurva trapesium dapat dilihat dalam persamaan

2.6.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & : x \leq a \text{ dan } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & : a < x \leq b \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & : c < x < d \\ 1 & : b < x \leq c \end{cases} \quad (2.6)$$

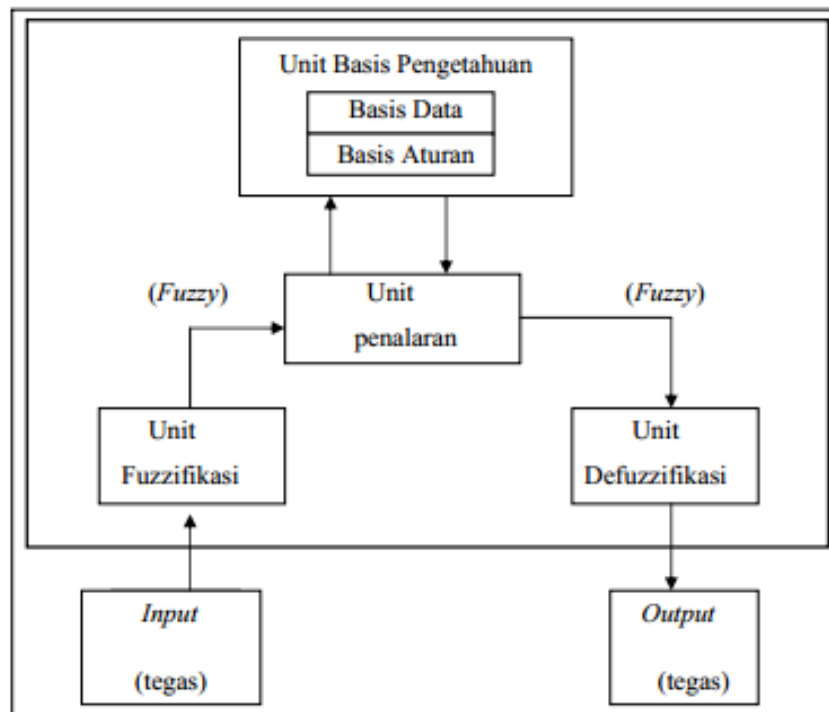
c. Sistem Inferensi Fuzzy

Fuzzy Inference System atau FIS adalah salah satu aplikasi dari logika *fuzzy* yang telah berkembang. *Fuzzy Inference System* adalah sistem komputasi yang bekerja dengan dasar prinsip penalaran *fuzzy*. Fungsi dari sistem ini adalah untuk menentukan suatu keputusan dengan menggunakan aturan inferensi yang didasarkan logika *fuzzy* dan melalui suatu proses tertentu.

Sistem inferensi *fuzzy* ini terdiri dari 3 unit, yaitu sebagai berikut:

1. *Fuzzification unit*.
2. *Fuzzy logic reasoning unit*.
3. *Defuzzification unit*.

Gambar 2.12 dibawah ini adalah diagram dari sistem pengambilan keputusan.



Gambar 2.12 Sistem pengambilan keputusan

Sumber: Solikin (2011)

1. Unit fuzzifikasi

Seperti yang dijelaskan oleh Setyawan (2014) proses fuzzifikasi merupakan proses perubahan dari variabel non *fuzzy* menjadi variabel *fuzzy* (variabel numerik menjadi variabel linguistik). Karena inferensi *fuzzy* ini bekerja dengan aturan dan *input fuzzy*, maka langkah pertama yang dilakukan yaitu membuat perubahan *input* tegas yang diterima, dijadikan ke dalam bentuk *input fuzzy*. Untuk masing-masing dari variabel *input*, akan ditentukan suatu *fuzzyfication function* (fungsi fuzzifikasi) yang akan mengubah variabel *input* yang tegas (biasanya dinyatakan dalam bentuk bilangan *real*) menjadi bentuk nilai pendekatan *fuzzy*.

Fungsi dari unit fuzzifikasi ditentukan berdasarkan beberapa kriteria :

1. Fungsi fuzzifikasi diharapkan mengubah suatu nilai tegas, misalnya a elemen R, ke suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} dengan nilai keanggotaan a terletak pada [0,1].
2. Jika nilai *input*-nya tidak sempurna diakibatkan gangguan, diharapkan fungsi fuzzifikasi ini dapat menekan seminimal mungkin gangguan tersebut.
3. Fungsi fuzzifikasi diharapkan dapat membantu dalam menyederhanakan komputasi yang dilakukan oleh sistem tersebut di dalam proses inferensinya.

2. Unit inferensi

Seperti yang dijelaskan oleh Setyawan (2014), unit inferensi *fuzzy* merupakan suatu cara untuk menentukan keputusan didasarkan dari sejumlah implikasi *fuzzy* dan dari data-data yang diketahui (seringkali disebut sebagai premis). Pengambilan keputusan terdiri dari 2 buah premis, premis pertama yaitu sebuah proposisi tunggal sebagai data yang diketahui dan premis kedua yaitu sebuah proposisi majemuk berbentuk implikasi yang merupakan suatu aturan yang berlaku. Hubungan keterkaitan dari kedua premis tersebut digunakan sebagai sebuah kesimpulan.

Terdapat 2 model aturan *fuzzy* yang sering digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi *fuzzy*, yaitu model Mamdani dan Sugeno. Pada model Mamdani, aturan *fuzzy* didefinisikan seperti persamaan 2.7.

$$IF\ x_1\ is\ A_1\ and\ x_n\ is\ A_n\ THEN\ y\ is\ B \quad (2.7)$$

Dimana A_1, \dots, A_n dan B adalah nilai-nilai linguistik atau *fuzzy set* dan $x_1\ is\ A_1$ menyatakan bahwa nilai x_1 adalah anggota *fuzzy set* A_1 .

Model Sugeno dikenal juga sebagai model Takagi-Sugeno-Kang adalah suatu varian dari model Mamdani, pada model Sugeno ini menggunakan aturan yang berbentuk seperti pada persamaan 2.8.

$$IF\ x_1\ is\ A_1\ and\ x_n\ is\ A_n\ THEN\ y\ is\ f(x_1, \dots, x_n) \quad (2.8)$$

Dimana f bisa berarti sembarang fungsi dari variabel-variabel *input* yang nilainya berada di dalam interval variabel *output*. Fungsi ini pada umumnya dibatasi dengan menyatakan f sebagai kombinasi linier dari variabel-variabel *input*.

Model *fuzzy* Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan yang lebih sederhana bila dibandingkan dengan model *fuzzy* Mamdani. Pada model Mamdani menggunakan proses *clipping* dalam menentukan hasil keluaran inferensi *fuzzy* yang harus membentuk sebuah bentuk fungsi keanggotaan yang baru, namun pada model Sugeno fungsi keanggotaan yang digunakan adalah *singleton* yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki nilai derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai keluaran tunggal dan 0 pada semua nilai yang lain.

3. Basis pengetahuan

Seperti yang dijelaskan oleh Setyawan (2014), di dalam sistem inferensi ini terdapat basis pengetahuan yang terdiri dari 2 komponen, yaitu basis aturan (*rule base*) dan juga basis data. *Rule base* merupakan sebuah himpunan implikasi-implikasi *fuzzy* yang digunakan sebagai panduan di dalam sebuah sistem. Bila sebuah sistem memiliki p buah aturan dengan $(n-1)$ variabel, maka bentuk aturan ke j ($j=1,1,...,p$) adalah jika (a_1 adalah X_{j1}) • (a_2 adalah X_{j2}) • ... (a_n adalah X_{jn}), maka b adalah variabel Y_i dengan • adalah *operator* (misal : *or* ataupun *and*), dan a_i adalah variabel linguistik dengan semesta pembicaraan a_i ($i=1,...,n$). Sedangkan basis data adalah kumpulan dari fungsi keanggotaan yang terbentuk dari himpunan-himpunan *fuzzy* yang berkaitan dengan nilai-nilai linguistik dari variabel-variabel yang terlibat dalam sistem tersebut.

4. Unit defuzzifikasi

Seperti yang dijelaskan oleh Setyawan (2014), peranan unit defuzzifikasi adalah untuk memberikan fungsi-fungsi penegasan di dalam sebuah sistem, oleh karena itu dibutuhkan unit ini untuk mengubah nilai keluaran dikarenakan sistem inferensi hanya bisa membaca nilai yang tegas. Unit ini memperoleh nilai variabel akhir yang diinginkan dari suatu daerah konsekuen *fuzzy*. Beberapa kriteria yang dibutuhkan dalam penggunaan fungsi defuzzifikasi adalah sebagai berikut:

- Masuk akal, artinya bilangan yang mewakili himpunan dari semua *output* himpunan *fuzzy* untuk setiap aturan harus merupakan sebuah bilangan tegas.
- Perhitungan sederhana, artinya bahwa hasil bilangan defuzzifikasi untuk setiap aturan didapatkan dari perhitungan yang sederhana.
- Kontinuitas, artinya bahwa bilangan defuzzifikasi tidak akan mengalami perubahan yang besar apabila terjadi perubahan pada himpunan *fuzzy*.

Di dalam sistem *fuzzy* ada beberapa macam metode defuzzifikasi, pada penelitian kali ini menggunakan metode *centroid* yang menentukan keputusan dengan cara mengambil titik pusat dari daerah *fuzzy*. Metode *centroid* dianggap sebagai metode yang paling akurat untuk sistem kontrol dan juga bisa digunakan untuk setiap model aturan *fuzzy*. Untuk model Sugeno yang nilainya diskrit perhitungannya dengan metode *centroid* dapat dilihat dalam persamaan 2.9.

$$y^* = \frac{\sum y \times \mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)} \quad (2.9)$$

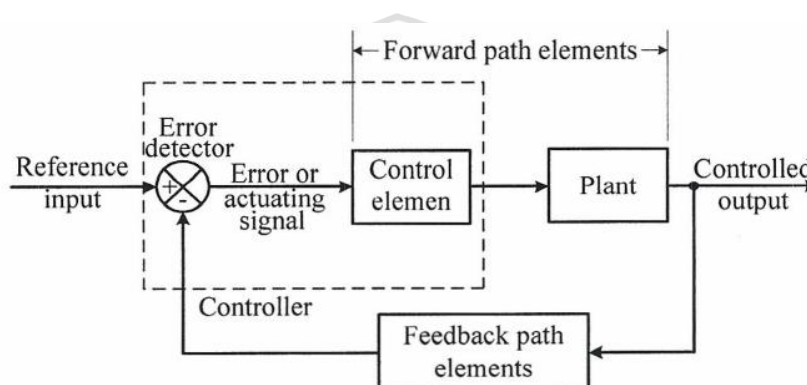
y^* = Nilai defuzzifikasi

y = Nilai hasil inferensi *fuzzy*

$\mu_R(y)$ = Derajat keanggotaan dari masing-masing nilai y

2.2.8 Sistem Kendali

Seperti yang dijelaskan oleh Ogata (2010), sistem kendali adalah suatu susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain. Di dalam sistem kendali, sebagai pengendali dipergunakanlah komputer, mikrokontroler, mikroprosesor, maupun rangkaian logika lainnya untuk mengolah dinamika sistem. Dari segi bentuk sinyal yang bekerja di dalam sistem, pada sistem analog sinyalnya berupa sinyal analog. Sedangkan pada sistem digital, sinyal *input* maupun *output* umumnya juga berupa sinyal analog, sedangkan sinyal digital hanya sinyal yang diproses oleh pengendali. Salah satu macam dari sistem kendali adalah sistem kendali otomatis. Diagram dari sistem kendali dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Diagram blok sistem kendali otomatis

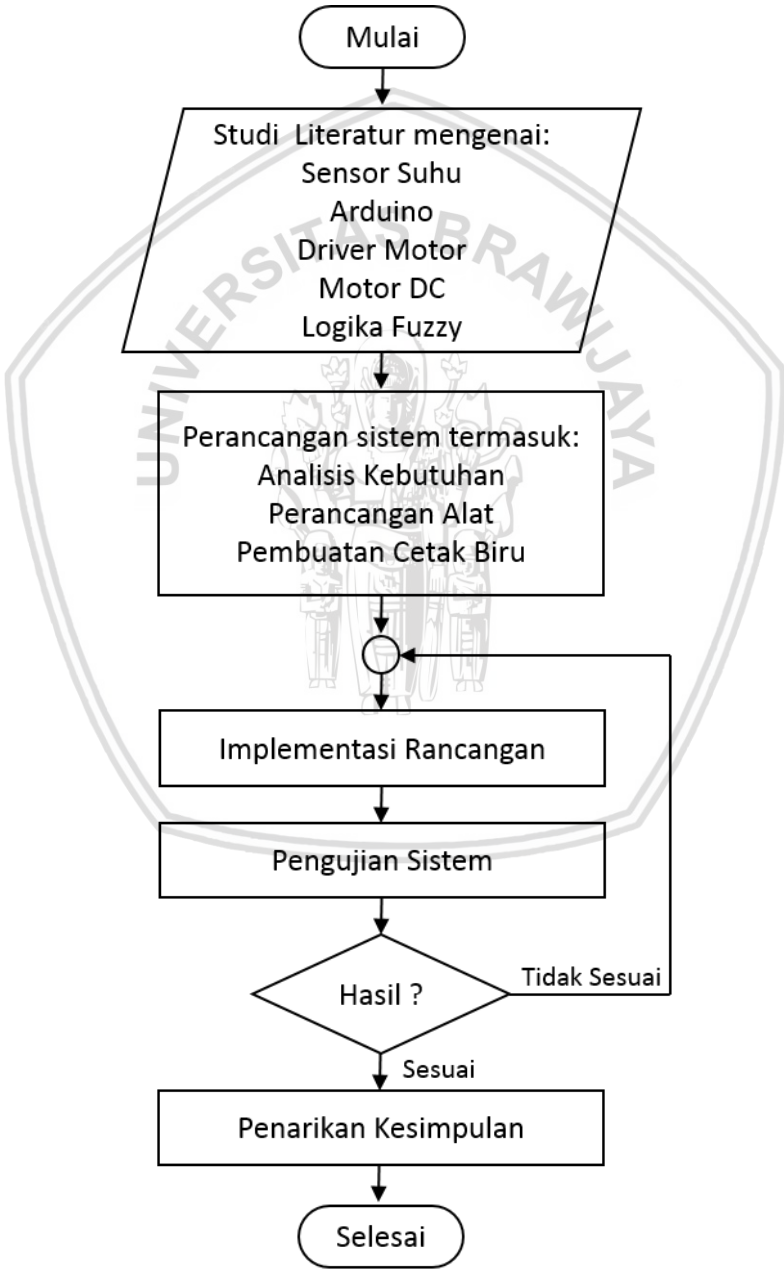
Sumber: Ogata (2010)

Gambar 2.13 diatas adalah diagram dari sistem kendali otomatis. Detektor kesalahan (*error detector*) akan membandingkan sinyal yang didapatkan dari elemen umpan-balik (*feedback path elements*) sebagai fungsi dari respon *output* dengan sinyal referensi *input*-nya. Perbedaan antara sinyal referensi *input* dan sinyal *output* ini disebut sinyal kesalahan (sinyal penggerak, *error/actuating signal*), yang akan mengaktifkan elemen kendali. Selanjutnya elemen kendali ini akan memperkuat sinyal kesalahan guna mengurangi kesalahan yang terjadi agar sistem dapat kembali ke kondisi semula (kondisi normal).

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode perancangan-implementatif digunakan pada penelitian tentang pengendalian suhu panel surya ini. Penelitian ini menggunakan metode tersebut karena pada penelitian ini membahas tentang logika *fuzzy* yang digunakan untuk menentukan keputusan sebagai pengatur kecepatan putaran motor DC berdasarkan suhu dari panel surya. Gambar 3.1 dibawah ini adalah tahapan dari penelitian yang berbentuk diagram alir.



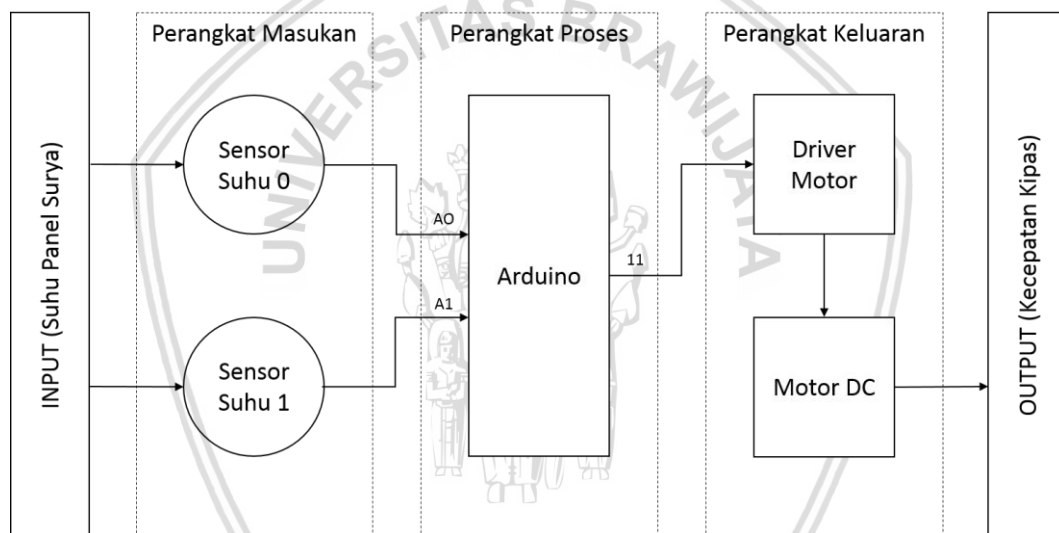
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

3.2 Perancangan Sistem

Agar penelitian yang dilakukan terstruktur, maka dibuatlah tahap perancangan sistem ini. Pada tahap perancangan sistem ini akan membahas tentang blok diagram sistem sebagai bahasan awal, dilanjutkan dengan membahas perancangan perangkat keras (skematik diagram sistem, sistem kendali perangkat, penempatan sensor LM35, dan penempatan motor DC), serta perancangan perangkat lunak (diagram alir sistem, fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi).

3.2.1 Blok Diagram Sistem

Perangkat LM35 dalam sistem berguna sebagai *input* yang mengambil nilai suhu dari panel surya, dan Arduino Uno (yang sudah ditanam logika *fuzzy*) digunakan sebagai pemroses untuk menentukan keputusan. *Driver* motor L298N digunakan sebagai pengendali motor DC (kipas) setelah menerima *output* dari Arduino Uno. Gambar 3.2 dibawah ini merupakan blok diagram dari omponen-komponen dirancang.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem

3.3 Implementasi Sistem

Sebagai tindak lanjut dari perancangan sistem, maka dilakukanlah implementasi sistem. Implementasi ini merangkai semua hasil dari perancangan sistem. Pada tahap implementasi sistem ini akan membahas tentang implementasi perangkat keras (implementasi sensor dan aktuator, implementasi prototype sistem, dan implementasi hardware keseluruhan), dan implementasi perangkat lunak (implementasi logika *fuzzy* dan implementasi program utama).

3.4 Pengujian Sistem

Tujuan dari dilakukannya tahap pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar keberhasilan dari sistem dan untuk menentukan tujuan dari penelitian ini sudah tercapai.

Di dalam tahap ini akan ada beberapa hal yang akan dilakukan pengujian, hal-hal tersebut yaitu:

1. Pengujian sensor dengan Arduino Uno dilakukan dengan memberikan program pada Arduino Uno kemudian mencoba mendeteksi suhu.
2. Pengujian logika *fuzzy* dengan cara membandingkan perhitungan dari Arduino Uno dengan perhitungan manual.
3. Pengujian motor DC dengan memberikan *input* berbeda sesuai dengan nilai sensor.

3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan dari sistem untuk menjawab pertanyaan yang terdapat di rumusan masalah, serta sebagai indikator tercapainya tujuan diadakannya penelitian ini. Kesimpulan didapatkan dari analisa hasil pengujian sistem. Tidak lupa penulis memberikan saran untuk penelitian kedepannya yang mengangkat tema optimalisasi panel surya.



BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN

4.1 Deskripsi Umum

Tahap rekayasa kebutuhan ini berguna untuk menjelaskan tentang kebutuhan apa saja yang harus dipenuhi oleh sistem agar dapat bekerja. Dengan adanya tahap rekayasa kebutuhan ini harapannya sistem yang dirancang nantinya bisa bekerja sesuai tujuan.

4.1.1 Perspektif Sistem

Perancangan ini dapat dikatakan berhasil jika sistem bisa mengendalikan suhu dari panel dengan logika *fuzzy* sebagai penentu keputusan.

4.1.2 Ruang Lingkup

Sebagai ruang lingkup dari sistem ini adalah pengambilan keputusan dengan menggunakan logika *fuzzy* yang terdapat di dalam Arduino Uno, dan digunakan untuk mengendalikan putaran kipas yang nantinya akan mendinginkan panel surya. Hasil pembacaan oleh 2 buah sensor suhu yang dipasang pada permukaan panel surya digunakan sebagai input untuk proses fuzzifikasi.

4.1.3 Karakteristik Pengguna

Masyarakat umum yang menggunakan sumber energi alternatif (khususnya panel surya) merupakan target dari dirancangnya sistem pengendali suhu panel surya ini. Diharapkan pengambilan nilai suhu dari sensor, penghitungan fuzzy, dan hasil *output*-nya (pendinginan panel surya) dapat dilakukan secara otomatis. Dan juga pengguna diharapkan dapat *me-monitoring* hasil pembacaan dari sensor suhu dan kecepatan putaran kipas.

4.1.4 Lingkungan Operasi Sistem

Agar sistem dapat berjalan sesuai harapan, kondisi dari lingkungan tempat sistem dijalankan harus memenuhi kriteria yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi cuaca saat sistem dijalankan harus berada dalam kondisi yang cerah, agar didapatkan hasil yang maksimal.
2. Sistem harus dijalankan pada siang hari.

4.1.5 Batasan Perancangan dan Implementasi

Penulis telah menetapkan beberapa batasan untuk perancangan dan implementasi dari sistem, yaitu:

1. Sistem memerlukan suplay daya agar bisa berjalan, maka dari itu suplai daya haruslah bisa memenuhi daya yang dibutuhkan, mulai dari daya untuk sensor suhu, Arduino Uno, driver motor, hingga motor DC (kipas).
2. Program perhitungan *fuzzy* yang terdapat pada sistem harus disesuaikan dengan perhitungan manual dan *rule-base fuzzy* harus sudah ditetapkan.

3. Arduino Uno sebagai pemroses utama harus sudah mempunyai program perhitungan *fuzzy* dari sistem pengendali suhu panel surya.

4.1.6 Asumsi dan Ketergantungan

Dalam penerapan sistem, beberapa asumsi dan ketergantungan dijelaskan dalam poin-poin dibawah ini:

1. Penancapan pin-pin yang dipakai harus sesuai dengan yang sudah diinisialisasikan di dalam program.
2. Diasumsikan kondisi dari cuaca sedang cerah (tidak mendung).
3. Penempatan dari sensor suhu berada di bagian bawah panel surya dan pemasangan motor DC (kipas) harus menghadap ke arah panel surya.

4.2 Rekayasa Kebutuhan

4.2.1 Kebutuhan Fungsional Sistem

Sebuah sistem tidak akan bisa berjalan dengan baik atau gagal apabila salah satu kebutuhan fungsional-nya tidak dapat terpenuhi. Maka dari itu, kebutuhan fungsional sistem adalah syarat penting agar sistem dapat berjalan. Beberapa kebutuhan fungsional dari sistem yang dirancang adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi untuk membaca nilai suhu dari panel surya. Nilai suhu digunakan sebagai *input* dari sistem, maka dari itu sistem harus dapat membaca dan menampilkan nilai suhu dari panel surya melalui sensor suhu.
- b. Fungsi untuk membandingkan nilai suhu dan membentuk sebuah keputusan. Hasil keputusan dari sistem nantinya akan digunakan sebagai *input* untuk *driver* motor, maka dari itu sistem harus membandingkan beberapa nilai suhu yang telah dibaca dari sensor untuk mendapatkan sebuah keputusan.
- c. Fungsi untuk menggerakkan kipas. Fungsi ini harus membuat sistem (dalam hal ini *driver* motor sebagai pengendali kecepatan) harus dapat mengubah-ubah kecepatan putaran dari kipas berdasarkan *input* yang sudah diterima dari Arduino Uno yang melakukan perhitungan logika *fuzzy*.

4.2.2 Kebutuhan Non-fungsional Sistem

Kebutuhan ini dibutuhkan sebagai batasan-batasan dari fungsi yang ditawarkan sistem. Dalam penelitian ini kebutuhan non-fungsional sistem berupa kebutuhan kerja dan keselamatan, yaitu maksimal sumber tegangan dari sistem adalah 5 V (untuk Arduino Uno dan sensor suhu) dan 12 V (untuk *driver* motor dan motor DC), serta pembatasan sebesar 2 Ampere untuk keseluruhan sumber arus, hal ini dilakukan agar seluruh komponen dapat bekerja maksimal dan juga tidak mengalami kerusakan.

BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

5.1 Perancangan Sistem

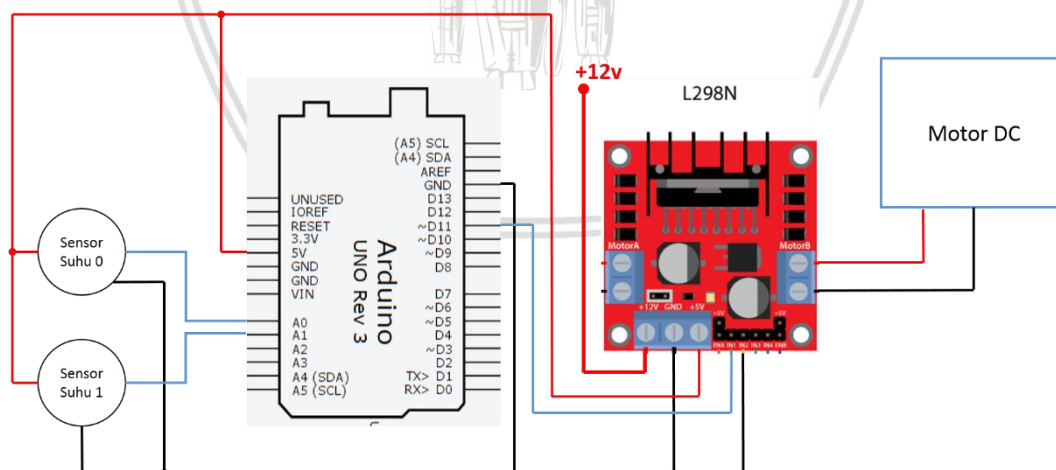
Penulis merancang sebuah perangkat untuk mengendalikan suhu dari panel surya. Sistem ini membandingkan nilai suhu (menggunakan logika *fuzzy*) yang telah diambil pada beberapa titik di permukaan panel. Perancangan sistem ini dibagi menjadi 2 tahap, yaitu tahap perancangan perangkat keras (skematik diagram sistem, sistem kendali perangkat, penempatan sensor suhu, dan penempatan motor DC), dan perancangan perangkat lunak (diagram alir sistem, fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan defuzzifikasi). Implementasi dari sistem akan dibahas di dalam sub bab implementasi sistem.

5.1.1 Perancangan Perangkat Keras

Beberapa perangkat keras yang digunakan di dalam perangkat ini yaitu 2 buah sensor suhu LM35, 1 buah mikrokontroler Arduino Uno, 1 buah *driver* motor L298N, dan 1 buah motor DC sebagai aktuator atau kipas untuk mendinginkan panel surya. Tahap ini menjelaskan tentang seluruh proses perancangan perangkat dari sisi perangkat keras dimulai dari skematik diagram, sistem kendali perangkat, peletakan dari sensor suhu, sampai peletakan dari motor DC.

a. Skematik Diagram Sistem

Reprentasi dari sistem yang dirancang digambarkan dengan menggunakan skematik diagram. Skematik diagram ini dirangkai mengacu pada blok diagram yang sudah dibuat sebelumnya pada gambar 3.2. Gambar 5.1 dibawah ini merupakan skematik diagram dari sistem yang akan dibuat.



Gambar 5.1 Skematik diagram sistem

Sensor akan membaca nilai suhu dari panel surya. Setelah sinyal dari sensor terbaca, maka nilai dari sinyal tersebut selanjutnya akan dikonversi ke dalam bentuk satuan suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan diolah menggunakan logika *fuzzy*. Hasil dari pengolahan oleh logika *fuzzy* ini kemudian dikirim ke *driver* motor yang selanjutnya akan diteruskan ke motor DC.

Tabel 5.1 dibawah ini adalah daftar keseluruhan pin-pin yang digunakan di dalam sistem.

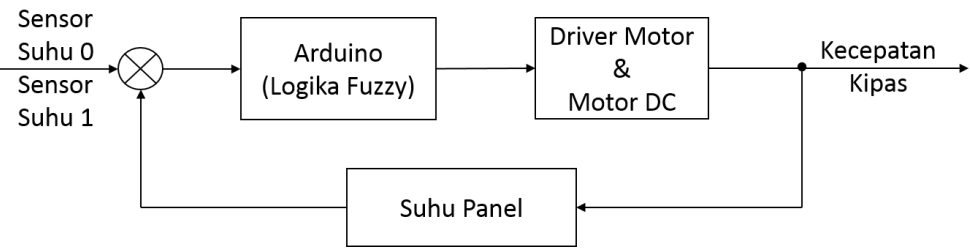
Tabel 5.1 Daftar pin yang digunakan

Alat	Pin Asal	Pin Tujuan
Sensor Suhu LM35	+5V	5V (Arduino)
	OUT	A0 & A1 (Arduino)
	GND	Ground
Arduino Uno	5V	+5V (Sensor Suhu 0 &1)
		+5V (Driver Motor)
	A0	OUT (Sensor Suhu 0)
	A1	OUT (Sensor Suhu 1)
	11	N1 (Driver Motor)
	GND	Ground
Driver Motor L298N	+12V	Adaptor 12 V
	+5V	5V (Arduino)
	N1	11 (Arduino)
	N2	Ground
	OUT1	(+) Motor DC
	OUT2	(-) Motor DC
Motor DC	(+) Motor DC	OUT1 (Driver Motor)
	(-) Motor DC	OUT2 (Driver Motor)

Dikarenakan sensor LM35 hanya memiliki keluaran sinyal analog, oleh karena itu sinyal dari sensor LM35 dikirim ke Arduino Uno melalui pin analog A0 dan A1. Hasil dari pengolahan oleh logika *fuzzy* ini dikirim ke *driver* motor menggunakan pin 11 (pin PWM), hal ini dikarenakan pada penelitian ini pengendalian dari kecepatan putaran motor DC menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*). Untuk tegangan masukan dari *Driver* Motor (+12V) dapat secara langsung diberikan menggunakan Adaptor 12V atau dengan mengakses pin VIN pada Arduino Uno tetapi dengan terlebih dahulu memberikan tegangan 12 V pada Arduino melalui *DC Jack*.

b. Sistem Kendali Perangkat

Gambar 5.2 dibawah ini merupakan diagram dari sistem kendali perangkat.

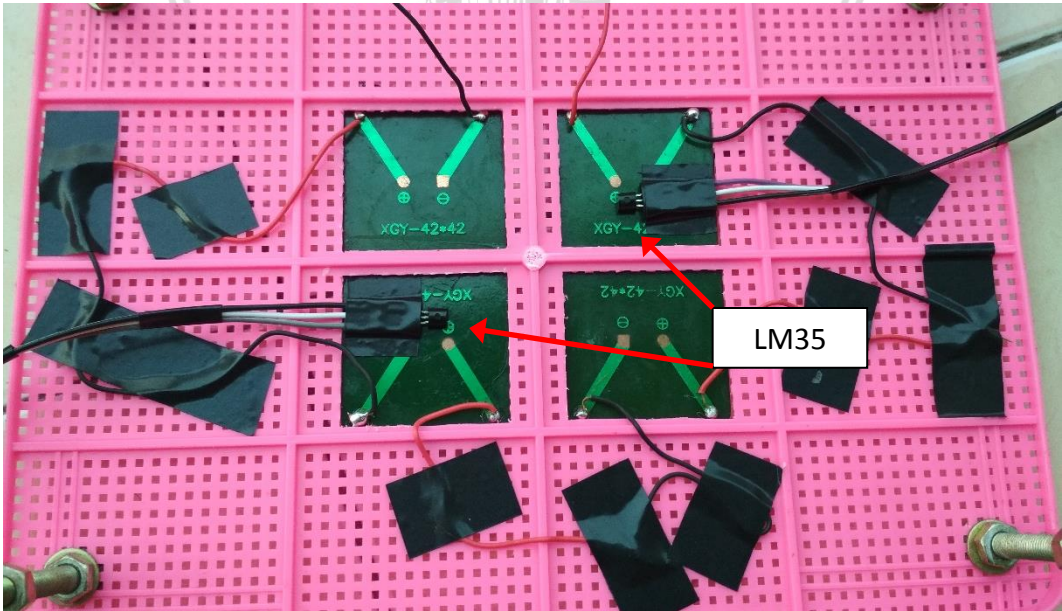


Gambar 5.2 Sistem kendali perangkat

Hasil dari sensor suhu 0 dan sensor suhu 1 digunakan sebagai *input* dari sistem, kemudian di proses didalam Arduino Uno menggunakan logika *fuzzy*. *Output* dari logika *fuzzy* kemudian digunakan untuk mengendalikan motor DC melalui *driver* motor. Setelah itu kipas akan berputar sesuai tingkat kecepatan hasil dari penghitungan logika *fuzzy*. Detektor kesalahan akan membandingkan suhu panel setelah kipas berputar dengan suhu panel sebelumnya. Suhu panel disini berperan sinyal penggerak yang akan mengaktifkan elemen kendali (logika *fuzzy*).

c. Penempatan Sensor LM35

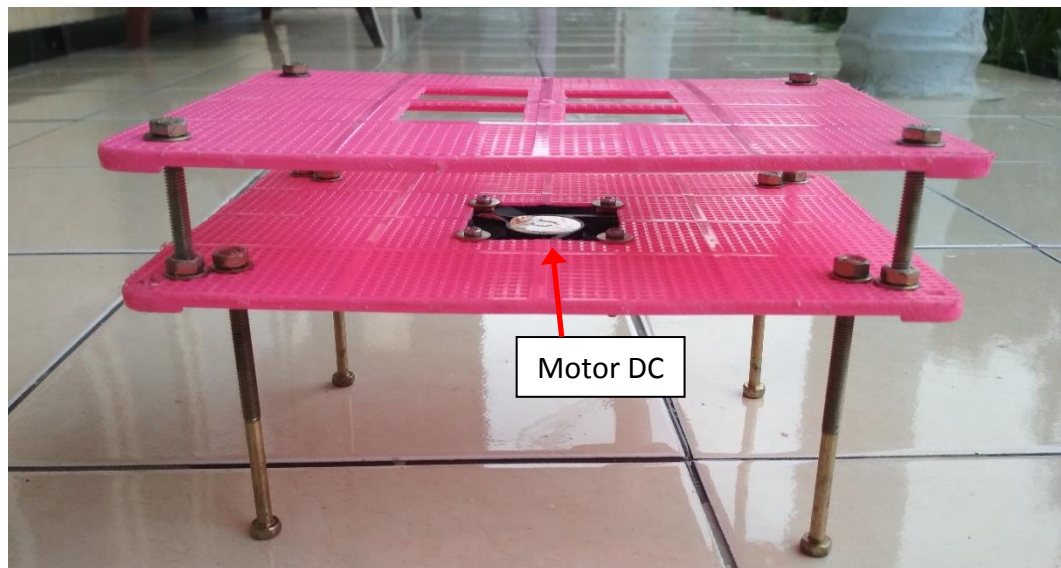
Untuk perbandingan dari logika *fuzzy*, sensor suhu LM35 akan mengambil nilai suhu dari panel di 2 titik yang berbeda. Sensor suhu LM35 ini dipasang pada bagian bawah dari panel untuk memudahkan dalam pengambilan nilai suhu, karena apabila dipasang pada bagian atas panel, sensor akan semakin panas karena terpapar sinar matahari langsung. Gambar 5.3 dibawah ini merupakan penempatan dari sensor LM35.



Gambar 5.3 Penempatan sensor LM35

d. Penempatan Motor DC

Motor DC sebagai pendingin panel harus ditempatkan pada tempat yang bisa menghembuskan angin langsung ke arah panel. Maka dari itu, motor DC ditempatkan di bawah panel dengan jarak sekitar 5 cm. Agar udara yang masuk ke motor DC tidak terhambat, maka motor DC pun harus diletakkan diatas tanah dengan jarak minimal 10 cm. Gambar 5.4 dibawah ini merupakan penempatan dari motor DC.



Gambar 5.4 Penempatan motor DC

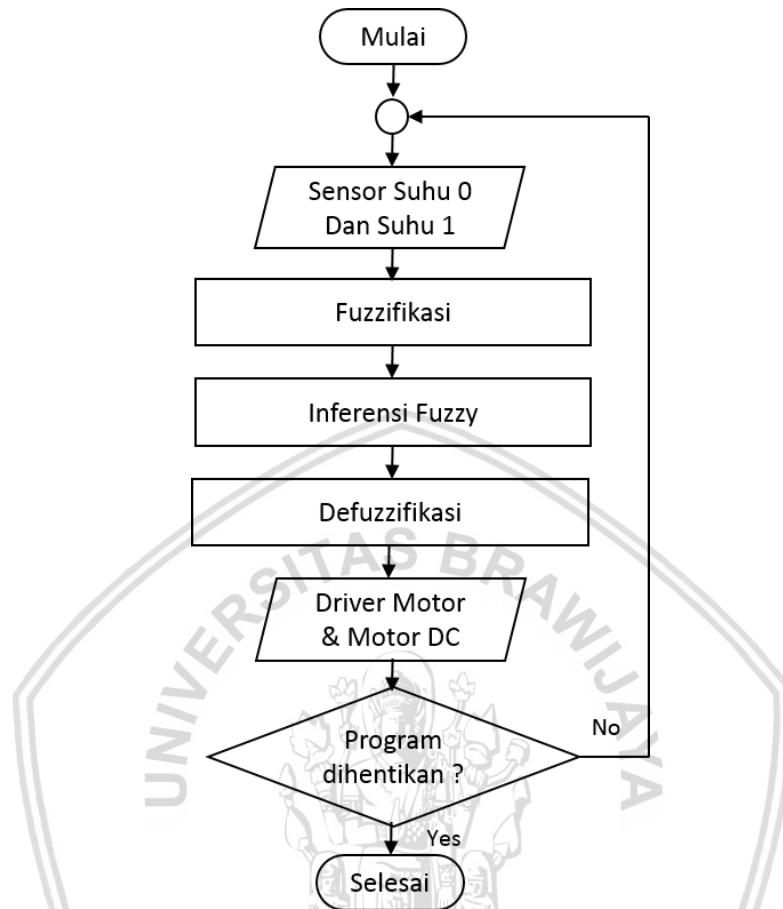
5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Tahap ini meliputi penjelasan tentang diagram alir sistem, fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi.

a. Diagram Alir Sistem

Tahap ini menjelaskan tentang alur kerja dari sistem dimulai dari program dijalankan hingga program selesai. Diagram alir atau *flowchart* sistem dibutuhkan sebagai acuan untuk pengimplementasian program yang akan dibuat nantinya supaya program tertata dan bisa berjalan dengan baik, dengan demikian diharapkan optimalisasi kerja panel surya bisa bertambah.

Gambar 5.5 dibawah ini merupakan tahapan awal dari mulai pembacaan sensor hingga motor DC bergerak mengikuti pembacaan sensor.



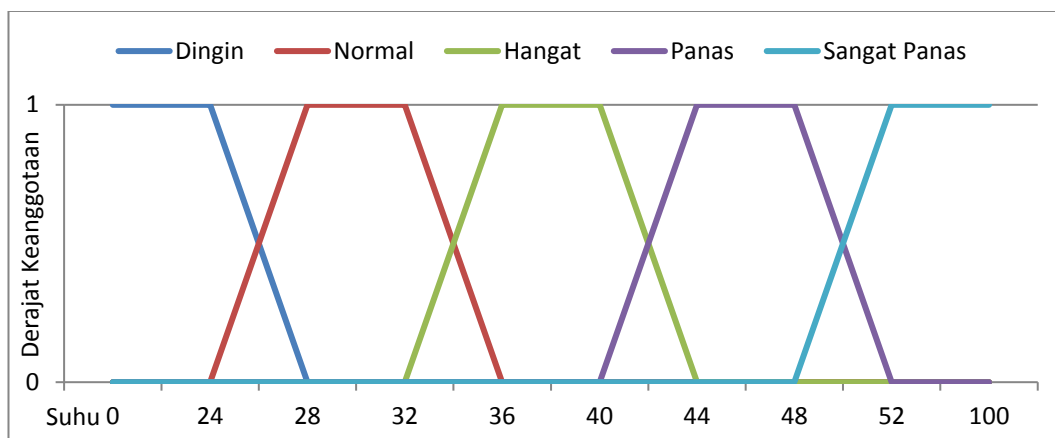
Gambar 5.5 Diagram alir sistem

Program dimulai dengan membaca suhu dari sensor 0 dan sensor 1 yang kemudian nilainya akan difuzzifikasikan untuk membentuk sebuah nilai *fuzzy* yang bisa digunakan dalam proses selanjutnya yaitu inferensi *fuzzy*. Pada proses inferensi *fuzzy*, nilai dari sensor akan dibandingkan berdasarkan input dari fuzzifikasi sehingga membentuk sebuah nilai penalaran hasil *fuzzy*. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan kecepatan dari motor DC sesuai dengan hasil pembacaan sensor suhu, namun motor hanya bisa membaca nilai tegas sehingga dibutuhkan proses defuzzifikasi untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai tegas dan motor DC bisa bergerak sesuai dengan nilai hasil defuzzifikasi. Untuk proses fuzzifikasi hingga defuzzifikasi dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

b. Fuzzifikasi

Tahap ini adalah untuk membentuk *fuzzy input* dari nilai-nilai *input* yang sebelumnya berupa *crisp input*. Terdapat 5 keanggotaan trapesium yang terdiri dari dingin, normal, hangat, panas, dan sangat panas. Masing- masing sensor suhu yang membaca suhu dari panel surya memiliki himpunan *fuzzy* yang sama.

Fungsi keanggotaan *input* dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Fungsi keanggotaan input

Untuk *input*, pemilihan *membership function* yang menjadi 5 keanggotaan dikarenakan *membership* ini memiliki rentang yang tidak terlalu jauh antar fungsi keanggotaan. Penulis membuat nilai suhu terendah dari nilai 26 °C karena pada suhu dibawah 26 °C inilah panel dapat bekerja maksimal, dan penulis membuat nilai suhu tertinggi pada nilai 50 °C karena menurut asumsi penulis suhu tersebut sudah sangat panas. Dengan demikian untuk 5 keanggotaan *input*, maka penulis membuat keanggotaan dingin dengan nilai suhu kurang dari 26 °C, keanggotaan normal dengan nilai suhu 26-34 °C, keanggotaan hangat dengan nilai suhu 34-42 °C, keanggotaan panas dengan nilai suhu 42-50 °C, dan keanggotaan sangat panas dengan nilai suhu lebih dari 50 °C.

Bentuk dari fungsi keanggotaan menggunakan bentuk trapesium dikarenakan dalam penentuan derajat keanggotaan nilai *input* tidak harus selalu beririsan sehingga ada beberapa nilai yang memiliki nilai derajat keanggotaan 1 sehingga diharapkan bisa meminimalisir perhitungan. Maka dari itu penulis membuat penyesuaian dengan merubah nilai dari setiap keanggotaan. Keanggotaan dingin menjadi 0 °C sampai dengan 28 °C, keanggotaan normal menjadi 24 °C sampai dengan 36 °C, keanggotaan hangat menjadi 32 °C sampai dengan 44 °C, keanggotaan panas menjadi 40 °C sampai dengan 52 °C, dan keanggotaan sangat panas menjadi 48 °C sampai dengan 100 °C.

Jika suatu hasil dari pembacaan sensor berada pada satu keanggotaan, maka derajat keanggotaannya adalah satu pada keanggotaan tersebut. Tetapi jika berada pada irisan 2 keanggotaan, maka nilainya adalah kurang dari 1 karena dibagi oleh 2 keanggotaan. Untuk keanggotaan pertama dengan rentang nilai yang lebih rendah dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4. Untuk keanggotaan kedua dengan rentang nilai yang lebih tinggi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3 atau dengan cara menghitung nilai 1 dikurangi hasil keanggotaan yang pertama.

c. Inferensi Fuzzy

Karena model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan *singleton* yang lebih sederhana dibanding model Mamdani, maka penulis menggunakan model Sugeno dalam penelitian ini. Keanggotaan *singleton* memiliki nilai derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai tunggal dan bernilai 0 pada semua nilai yang lain. Pada tabel 5.2 dibawah ini terdapat aturan-aturan (*rule fuzzy*) yang sudah ditentukan sebelumnya kemudian dijadikan sebuah tabel untuk penentuan keputusan kecepatan motor DC.

Tabel 5.2 Rule base motor DC

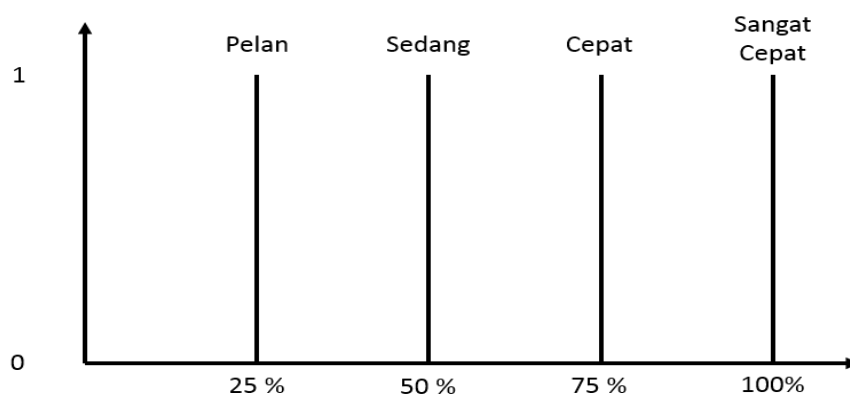
°C		SUHU 1				
		Dingin (0-28)	Normal (24-36)	Hangat (32-44)	Panas (40-52)	Sangat Panas (48-100)
S U H U 2	Dingin (0-28)	Mati (0%)	Pelan (25%)	Pelan (25%)	Sedang (50%)	Sedang (50%)
	Normal (24-36)	Pelan (25%)	Pelan (25%)	Sedang (50%)	Sedang (50%)	Cepat (75%)
	Hangat (32-44)	Pelan (25%)	Sedang (50%)	Sedang (50%)	Cepat (75%)	Cepat (75%)
	Panas (40-52)	Sedang (50%)	Sedang (50%)	Cepat (75%)	Cepat (75%)	Sangat Cepat (100%)
	Sangat Panas (48-100)	Sedang (50%)	Cepat (75%)	Cepat (75%)	Sangat Cepat (100%)	Sangat Cepat (100%)

Seperti yang sudah penulis jelaskan pada sub bab batasan masalah, yaitu *rule base* ditentukan sendiri oleh penulis. Aturan *conjunction* digunakan pada proses inferensi ini, yaitu dengan cara memilih nilai derajat keanggotaan minimum dari nilai-nilai linguistik yang dibandingkan, misalnya Suhu0 Normal (0,7) dan Suhu1 Hangat (0,3) maka nilai yang dihasilkan dari proses inferensi adalah Sedang (0,3).

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah suatu proses yang dilakukan agar terjadi perubahan nilai *output* dari logika *fuzzy* menjadi nilai *output* sebenarnya serta didasarkan dari fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Fungsi keanggotaannya menggunakan model *fuzzy sugeno* dengan menggunakan aturan *singleton*, dipilihnya aturan *singleton* dikarenakan proses representasinya sederhana yaitu dengan nilai-nilai tunggal yang sudah ditentukan namun hasilnya tetap akurat tidak seperti model mamdani yang mengharuskan melakukan pengambilan keseluruhan nilai yang ada pada setiap keanggotaan yang dipakai.

Fungsi keanggotaan defuzzifikasi terdapat pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 Fungsi keanggotaan defuzzifikasi

Hasil dari perhitungan keluaran nantinya akan digunakan sebagai tingkat kecepatan putaran motor DC. Pada gambar 5.6 diatas dapat dilihat bahwa penulis membagi tingkat kecepatan kipas menjadi 5 tingkat yaitu 0% untuk mati, 25% untuk pelan, 50% untuk sedang, 75% untuk cepat, dan 100% untuk sangat cepat. Di dalam proses defuzzifikasi ini menggunakan metode *centroid*, yang menggunakan persamaan 2.9 untuk menghitung fungsi penjumlahan *output*.

5.2 Implementasi Sistem

Setelah melakukan tahap perancangan sistem, maka dilakukan tahap implementasi sistem untuk membentuk sistem. Agar mendapatkan hasil akhir yang sesuai dengan tujuan, maka implementasi sistem harus disesuaikan dengan tahap perancangan sistem. Tahap implementasi sistem dibagi menjadi tahap implementasi untuk perangkat keras dan tahap implementasi untuk perangkat lunak.

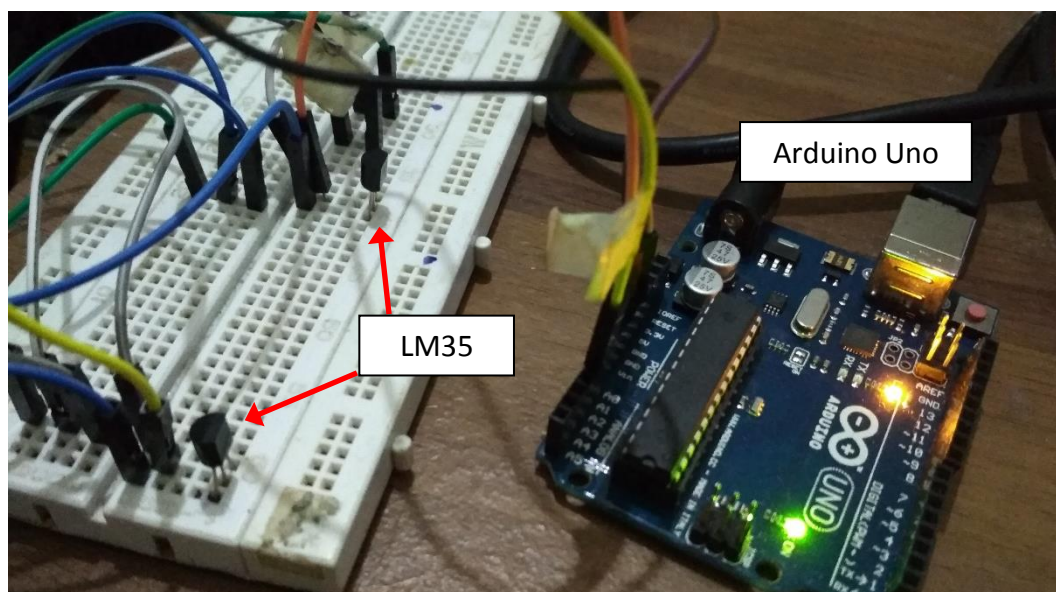
5.2.1 Implementasi Perangkat Keras

Tahap ini adalah tahap untuk membentuk sistem dari sisi perangkat keras. Tahap ini terdiri dari implementasi sensor dan aktuator, implementasi *prototype* sistem, dan implementasi *hardware* secara keseluruhan.

a. Implementasi Sensor dan Aktuator

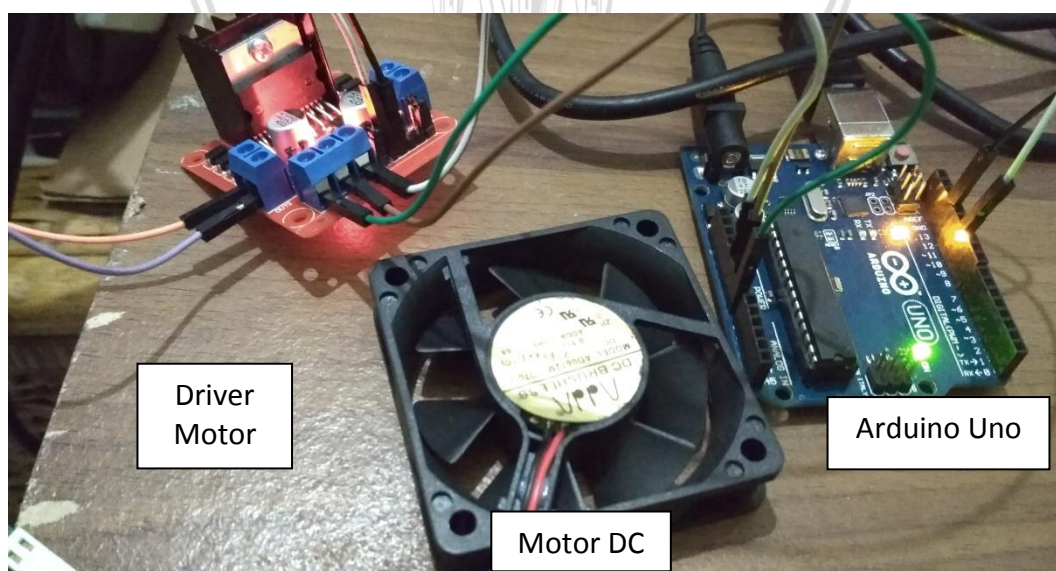
Sensor suhu LM35 mempunyai 3 kaki yang masing-masing digunakan untuk sinyal *output*, tegangan operasional, dan *ground*. Kaki tegangan dari LM35 dihubungkan dengan sumber tegangan 5 V, kemudian kaki sinyal *output* dihubungkan dengan pin *input* analog pada Arduino Uno, dan kaki *ground* dihubungkan dengan massa (-).

Gambar 5.8 dibawah ini merupakan rangkaian dari sensor suhu LM35.



Gambar 5.8 Rangkaian sensor

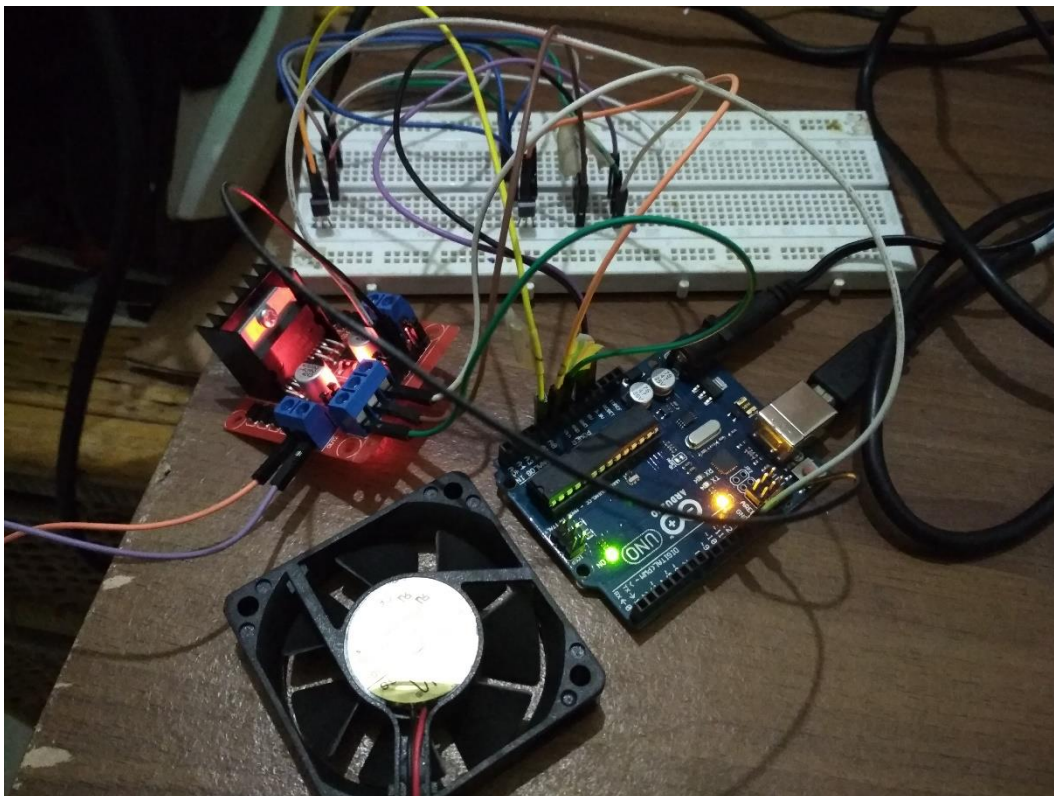
Aktuator dalam sistem adalah motor DC. Motor DC dihubungkan dengan Arduino Uno menggunakan *driver* L298N. Motor DC memiliki 2 kaki yaitu *input* tegangan dan *ground*. *Input* tegangan dihubungkan dengan *OUT1*, sedangkan *ground* dihubungkan dengan dengan *OUT2* pada *driver* L298N. Pada umumnya kaki motor DC memiliki warna hitam untuk *ground*, dan merah untuk *input* tegangan. Pada L298N yang digunakan hanya 5 kaki, yaitu kaki +12v sebagai tegangan *input*, kaki *GND* sebagai *ground*, kaki +5v sebagai tegangan operasional dari Arduino Uno, kaki N1 sebagai masukan sinyal dari Arduino Uno, dan N2 sebagai *ground*. Rangkaian dari aktuator dapat dilihat pada gambar 5.9.



Gambar 5.9 Rangkaian aktuator

b. Implementasi Prototype Sistem

Pada tahap implementasi *prototype* sistem ini, semua komponen digabung menjadi suatu rangkaian yang terhubung. Terdapat 2 buah LM35 sensor, sebuah *driver* motor, dan sebuah aktuator berupa motor DC sesuai dengan tahap perancangan sistem. Gambar 5.10 dibawah ini merupakan rangkaian dari *prototype* sistem.



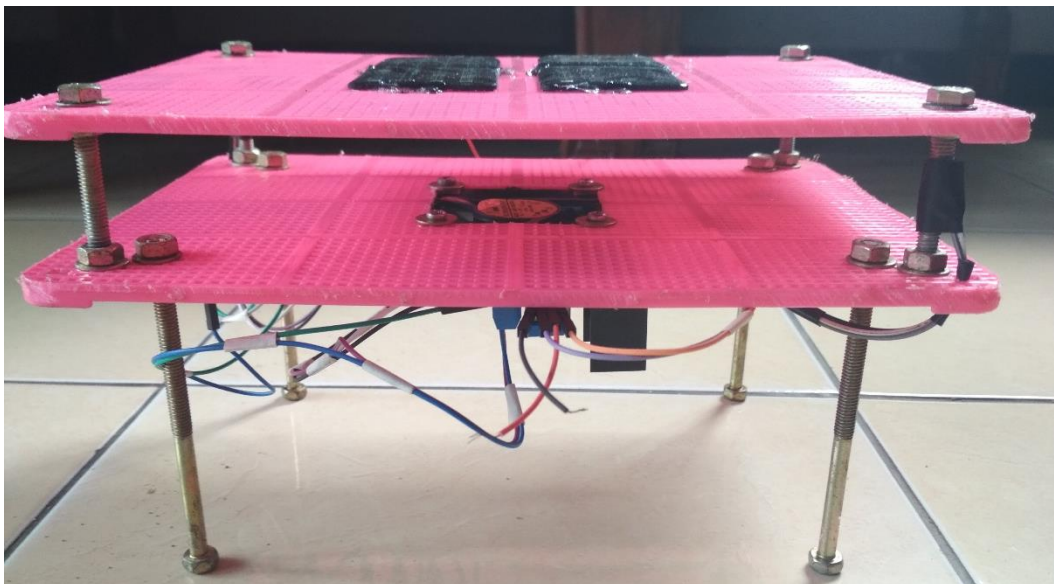
Gambar 5.10 Rangkaian *prototype* sistem

Suplai daya untuk sensor suhu didapat dari pin 5 V di Arduino Uno, sedangkan untuk tegangan operasional dari *driver* motor disuplai menggunakan adaptor 12 V. Kaki *ground* pada sensor LM35 dan *driver motor* dijadikan satu lalu dimasukkan ke pin GND pada Arduino Uno. Karena daya yang dibutuhkan oleh sistem sudah terpenuhi, maka pada saat dicoba semua komponen berjalan dengan baik.

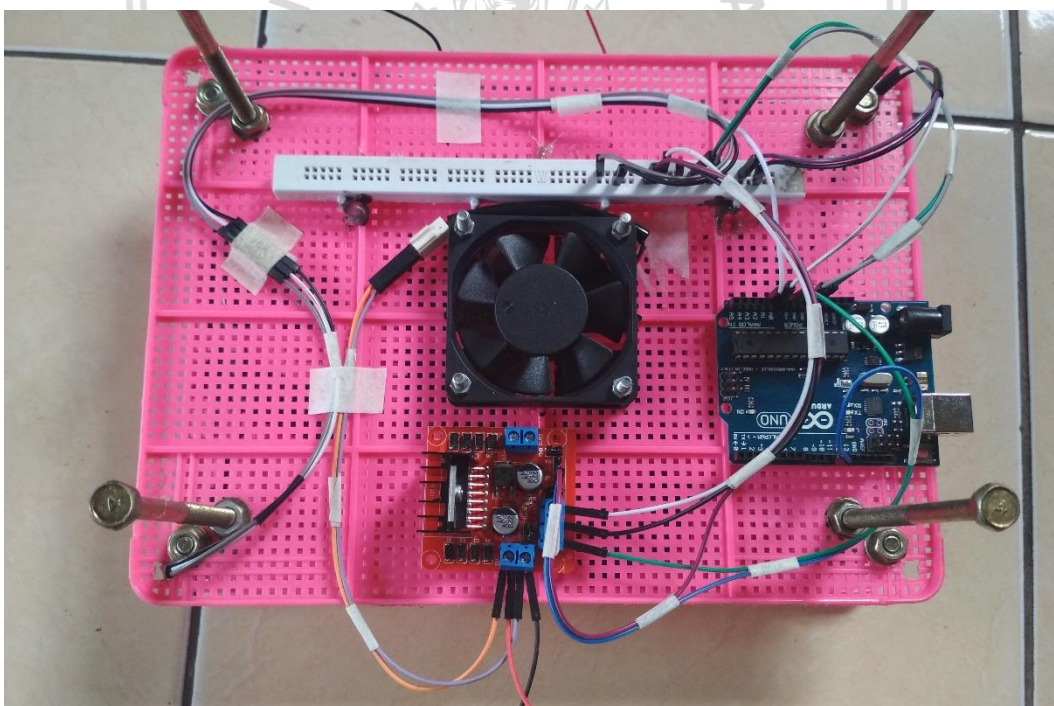
c. Implementasi Hardware Keseluruhan

Tahap ini adalah penyempurnaan dari tahap implementasi *prototype* sistem. Untuk pengimplementasian *hardware* keseluruhan harap diperhatikan juga penempatan sensor suhu agar pembacaan suhu lebih optimal, dan juga penempatan motor DC yaitu dibawah panel surya.

Gambar 5.11 dan 5.12 dibawah ini merupakan rangkaian dari *hardware* keseluruhan.



Gambar 5.11 Rangkaian *hardware* keseluruhan (samping)



Gambar 5.12 Rangkaian *hardware* keseluruhan (bawah)

5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak

Tahap ini adalah tahap untuk membentuk sistem dari sisi perangkat lunak. Tahap ini terdiri dari implementasi logika *fuzzy* serta implementasi program utama.

a. Implementasi Logika Fuzzy

Di dalam program yang dibuat oleh penulis ini, terdapat fungsi-fungsi seperti fuzzifikasi, inferensi *fuzzy*, dan juga defuzzifikasi. Terdapat pula *code* untuk nilai *input* yang memiliki keanggotaan tunggal dan keanggotaan ganda. Tabel 5.3 dibawah ini merupakan potongan program fuzzifikasi.

Tabel 5.3 Potongan program fuzzifikasi

```

1 float keanggotaansuhul (float hf) {
2     if (hf < 24) {
3         hks1[0]=1; //dingin
4         hks1[1]=0;
5         hks1[2]=0;
6         hks1[3]=0;
7         hks1[4]=0;
8     }
9     else if (hf > 24 && hf < 28) {
10        hks1[0]=((28 - hf) / (28 - 24));
11        hks1[1]=((hf - 24) / (28 - 24));
12        hks1[2]=0;
13        hks1[3]=0;
14        hks1[4]=0;
15    }

```

Pada potongan program fuzzifikasi pada tabel 5.3 diatas, variabel *array hks1[0]* menggambarkan keanggotaan 'dingin', *hks1[1]* menggambarkan keanggotaan 'normal', dan seterusnya secara berurutan sampai variabel *hks1[4]* untuk menggambarkan keanggotaan 'sangat panas'. Apabila sebuah *input* memiliki nilai dibawah 24 °C maka akan mendapatkan keanggotaan tunggal (bernilai 1 pada keanggotaan dingin (*hks1[0]=1*) dan bernilai 0 pada keanggotaan lain), namun apabila sebuah *input* memiliki nilai diantara 24 °C dan 28 °C maka akan mendapatkan keanggotaan ganda (bernilai kurang dari 1 pada masing-masing keanggotaan dingin dan keanggotaan normal). Untuk menghitung nilai derajat keanggotaannya menggunakan persamaan dalam baris 10 dan 11 pada tabel 5.3 diatas. Sedangkan untuk menghitung rentang nilai suhu yang lain dijelaskan menggunakan persamaan dibawah ini:

1. Apabila *input* memiliki nilai diantara 28 °C dan 32 °C maka akan mendapatkan nilai 1 pada keanggotaan normal (*hks1[1]=1*) dan nilai 0 pada keanggotaan yang lain.
2. Apabila *input* memiliki nilai diantara 32 °C dan 36 °C maka akan mendapatkan nilai keanggotaan ganda (normal dan hangat). Untuk menghitung nilai derajat keanggotaan normal menggunakan kode program $hks1[1]=((36-hf)/(36-32))$, dan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan hangat menggunakan kode program $hks1[2]=((hf-32)/(36-32))$.

3. Apabila *input* memiliki nilai diantara 36 °C dan 40 °C maka akan mendapatkan nilai 1 pada keanggotaan hangat ($hks1[2]=1$) dan nilai 0 pada keanggotaan yang lain.
4. Apabila *input* memiliki nilai diantara 40 °C dan 44 °C maka akan mendapatkan nilai keanggotaan ganda (hangat dan panas). Untuk menghitung nilai derajat keanggotaan hangat menggunakan kode program $hks1[2]=((44-hf)/(44-40))$, dan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan panas menggunakan kode program $hks1[3]=((hf-40)/(44-40))$.
5. Apabila *input* memiliki nilai diantara 44 °C dan 48 °C maka akan mendapatkan nilai 1 pada keanggotaan panas ($hks1[3]=1$) dan nilai 0 pada keanggotaan yang lain.
6. Apabila *input* memiliki nilai diantara 48 °C dan 52 °C maka akan mendapatkan nilai keanggotaan ganda (panas dan sangat panas). Untuk menghitung nilai derajat keanggotaan panas menggunakan kode program $hks1[3]=((52-hf)/(52-48))$, dan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan sangat panas menggunakan kode program $hks1[4]=((hf-48)/(52-48))$.
7. Apabila *input* memiliki nilai lebih dari 52 °C maka akan mendapatkan nilai 1 pada keanggotaan sangat panas ($hks1[4]=1$) dan nilai 0 pada keanggotaan yang lain.

Tabel 5.4 dibawah ini merupakan potongan program inferensi fuzzy.

Tabel 5.4 Potongan program inferensi fuzzy

1	float rule(float k1, float k2, float k3, float k4, float k5,
2	float b1, float b2, float b3, float b4, float b5){
3	kira1 = min(k1,b1); f1=0;
4	kira2 = min(k1,b2); f2=25;
5	kira3 = min(k1,b3); f3=25;
6	kira4 = min(k1,b4); f4=50;
7	kira5 = min(k1,b5); f5=50;
8	kira6 = min(k2,b1); f6=25;
9	kira7 = min(k2,b2); f7=25;
10	kira8 = min(k2,b3); f8=50;
11	kira9 = min(k2,b4); f9=50;
12	kira10 = min(k2,b5); f10=75;
13	kira11 = min(k3,b1); f11=25;
14	kira12 = min(k3,b2); f12=50;
15	kira13 = min(k3,b3); f13=50;
16	kira14 = min(k3,b4); f14=75;
17	kira15 = min(k3,b5); f15=75;
18	kira16 = min(k4,b1); f16=50;
19	kira17 = min(k4,b2); f17=50;
20	kira18 = min(k4,b3); f18=75;
21	kira19 = min(k4,b4); f19=75;
22	kira20 = min(k4,b5); f20=100;

```

23   kira21 = min(k5,b1);   f21=50;
24   kira22 = min(k5,b2);   f22=75;
25   kira23 = min(k5,b3);   f23=75;
26   kira24 = min(k5,b4);   f24=100;
27   kira25 = min(k5,b5);   f25=100;
28   }

```

Pada potongan program inferensi pada tabel 5.4 diatas, variabel *kira1* sampai *kira25* gunanya adalah untuk menentukan nilai minimum dari derajat keanggotaan yang dihasilkan fuzzifikasi yang menggunakan aturan *conjunction*. Sedangkan variabel *f1* sampai *f25* adalah keluaran dari *rule* yang berisi persentase kecepatan putaran motor DC. Perhitungan yang dilakukan dalam tahap defuzzifikasi menggunakan nilai pada *kira1* sampai *kira25* dan *f1* sampai *f25*.

Tabel 5.5 dibawah ini merupakan potongan program defuzzifikasi.

Tabel 5.5 Potongan program defuzzifikasi

```

1  float exhaust(){
2      output =((kira1*f1) + (kira2*f2) + (kira3*f3) + (kira4*f4) +
3      (kira5*f5) +
4      (kira6*f6) + (kira7*f7) + (kira8*f8) + (kira9*f9) +
5      (kira10*f10) +
6      (kira11*f11) + (kira12*f12) + (kira13*f13) +
7      (kira14*f14) + (kira15*f15) +
8      (kira16*f16) + (kira17*f17) + (kira18*f18) +
9      (kira19*f19) + (kira20*f20) +
10     (kira21*f21) + (kira22*f22) + (kira23*f23) +
11     (kira24*f24) + (kira25*f25))
12     /
13     ((kira1) + (kira2) + (kira3) + (kira4) + (kira5) +
14     (kira6) + (kira7) + (kira8) + (kira9) + (kira10) +
15     (kira11) + (kira12) + (kira13) + (kira14) + (kira15)
16     +
17     (kira16) + (kira17) + (kira18) + (kira19) + (kira20)
18     +
19     (kira21) + (kira22) + (kira23) + (kira24) +
20     (kira25));
21  }

```

Pada potongan program defuzzifikasi pada tabel 5.5 diatas, dilakukan proses penghitungan untuk menentukan hasil keluaran dari logika *fuzzy* yang nantinya akan digunakan untuk menentukan kecepatan putaran motor DC. Hasil tersebut didapatkan dari variabel *kira1* sampai *kira25* dimana masing-masing variabel tersebut dikalikan dengan variabel *f1* sampai *f25* kemudian hasil perkaliannya dijumlahkan, kemudian setelah dijumlahkan maka dibagi oleh total derajat keanggotaan *output* yang ada pada variabel *kira1* sampai *kira25*.

b. Implementasi Program Utama

Selama masih ada daya yang masuk ke sistem, maka sistem akan menjalankan program utama secara terus menerus. Terdapat *code* program untuk membaca

nilai dari sensor suhu, pemanggilan fungsi dari logika *fuzzy*, serta mengubah nilai keluaran yang berupa tingkat persentase kecepatan motor DC menjadi nilai digital. Tabel 5.6 dibawah ini merupakan potongan program utama.

Tabel 5.6 Potongan program utama

```

1 void loop() {
2     data1 = analogRead(sens1);
3     data2 = analogRead(sens2);
4     suhu1 = data1 / 2.0479;
5     suhu2 = data2 / 2.0479;
6
7     keanggotaansuhu1(suhu1);
8     keanggotaansuhu2(suhu2);
9
10    rule(hks1[0], hks1[1], hks1[2], hks1[3], hks1[4],
11         hks2[0], hks2[1], hks2[2], hks2[3], hks2[4]);
12
13    exhaust();
14
15    driver = map(output, 0, 100, 0, 255);
16    analogWrite(fan, driver);
17
18    delay(5000);
19 }

```

Pada potongan program utama pada tabel 5.6 diatas dijelaskan tentang hasil pembacaan sensor (*data1* & *data2*) diambil dengan *code analogRead()*. Nilai ini kemudian dibagi dengan nilai 2.0479 (nilai 2.0479 ini adalah konstanta untuk mengubah nilai data mentah dari sensor suhu menjadi bentuk nilai suhu dalam satuan derajat *celcius*) dan dimasukkan ke variabel *suhu1* dan *suhu2*. Variabel *suhu1* dan *suhu2* menyimpan nilai dari pembacaan sensor suhu yang akan digunakan sebagai *input* dari logika *fuzzy*.

Proses fuzzifikasi dipanggil dengan menggunakan fungsi *keanggotaansuhu1()* dan *keanggotaansuhu2()*. Setelah mendapatkan nilai derajat keanggotaan, selanjutnya akan masuk ke proses inferensi dengan memanggil fungsi *rule()*, nilai derajat keanggotaan masing-masing himpunan keanggotaan untuk sensor 1 terdapat pada variabel *array hks1[0]* sampai *hks1[4]* dan untuk sensor 2 terdapat pada variabel *array hks2[0]* sampai *hks2[4]*. Setelah proses inferensi selesai dijalankan, selanjutnya masuk ke proses defuzzifikasi dan menghitung nilai dari *output fuzzy*, dengan memanggil fungsi *exhaust()*. Keluaran dari proses defuzzifikasi kemudian disimpan dalam variabel *output* yang berupa nilai persentase kecepatan motor (0-100), sebelum dikirim ke *driver* harus dirubah dengan fungsi *mapping* karena *driver* hanya bisa membaca nilai digital (0-255). Karena pengulangan proses ini terjadi setiap 5 detik sekali, maka dibuat *delay* selama 5 detik (5000ms).

BAB 6 PENGUJIAN

6.1 Pengujian Sensor Suhu

6.1.1 Tujuan Pengujian Sensor Suhu

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimanakah keakuratan pembacaan suhu oleh sensor. Pengujian ini menggunakan *hardware* Arduino Uno, 2 buah rangkaian sensor LM35, sebuah termometer, dan sebuah PC.

6.1.2 Prosedur Pengujian Sensor Suhu

Langkah-langkah pengujian sensor suhu adalah:

1. Hubungkan sensor LM35 dengan Arduino Uno.
 - a. Kaki +5V sensor dengan pin 5V pada Arduino Uno.
 - b. Kaki OUT sensor dengan pin A0 dan kaki OUT sensor 1 dengan pin A1 pada Arduino Uno.
 - c. Kaki GND sensor dengan *ground*.
2. *Upload* program yang digunakan dalam pengujian ke Arduino Uno.
3. Bandingkan hasil pembacaan sensor dengan termometer. Hasil dari pembacaan sensor dilihat melalui *serial monitor*.

Tabel 6.1 dibawah ini merupakan potongan program untuk pengujian sensor suhu.

Tabel 6.1 Potongan program pengujian sensor suhu

1	<code>void loop() {</code>
2	<code> data1 = analogRead(pSuhu1);</code>
3	<code> data2 = analogRead(pSuhu2);</code>
4	<code></code>
5	<code> suhu1 = data1 / 2.0479;</code>
6	<code> suhu2 = data2 / 2.0479;</code>
7	<code></code>
8	<code> Serial.print("Data 1: ");</code>
9	<code> Serial.print(data1);</code>
10	<code> Serial.print(", Suhu 1: ");</code>
11	<code> Serial.print(suhu1);</code>
12	<code> Serial.print(" Data 2: ");</code>
13	<code> Serial.print(data2);</code>
14	<code> Serial.print(", Suhu 2: ");</code>
15	<code> Serial.print(suhu2);</code>
16	<code> Serial.println();</code>
17	<code> delay(5000);</code>
18	<code>}</code>

6.1.3 Hasil Pengujian Sensor Suhu

Tabel 6.2 dibawah ini merupakan hasil pengujian dari sensor suhu.

Tabel 6.2 Hasil pengujian sensor suhu

No.	Hasil Termometer °C	Hasil Sensor °C	Error
1	25	25.39	0.39
2	25	24.9	0.1
3	25	24.42	0.58
4	25	25.39	0.39
5	35	33.69	1.31
6	35	34.18	0.82
7	35	34.67	0.33
8	35	35.16	0.16
Rata-rata error			0.51

Hasil *error* didapatkan dari selisih antara nilai hasil termometer dan nilai hasil pembacaan sensor.

6.1.4 Analisis Pengujian Sensor Suhu

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa terdapat sedikit perbedaan pada hasil pembacaan sensor dan termometer. Pada suhu 25 °C, sensor membaca suhu dalam kisaran 24-25 °C. Pada suhu 35 °C, sensor membaca suhu dalam kisaran 34-35 °C. Hal ini tidak terlalu bermasalah karena penyimpangan hasil pembacaan sensor tidak terlalu besar, yaitu sekitar 1-2 derajat *celcius*.

6.2 Pengujian Logika Fuzzy

6.2.1 Tujuan Pengujian Logika Fuzzy

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah keluaran dari logika *fuzzy* ini sudah sesuai dengan perhitungannya atau belum. Hasil nilai perhitungan *fuzzy* pada Arduino Uno nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan manual untuk menentukan penyimpangan pada proses perhitungan. Pengujian ini menggunakan *hardware* Arduino Uno, dan sebuah PC.

6.2.2 Prosedur Pengujian Logika Fuzzy

Langkah-langkah pengujian logika *fuzzy* adalah:

1. *Upload* program logika *fuzzy* pada Arduino Uno.
2. Bandingkan hasil keluaran logika *fuzzy* dengan perhitungan manual. Hasil keluaran dari logika *fuzzy* dapat dilihat melalui *serial monitor*.

6.2.3 Hasil Pengujian Logika Fuzzy

Pengujian dilakukan dengan cara mengambil acak hasil dari keluaran logika fuzzy pada Arduino Uno. Tabel 6.3 dibawah ini merupakan hasil pengujian dari logika fuzzy.

Tabel 6.3 Hasil pengujian logika fuzzy

No.	Suhu 1 (°C)	Suhu 2 (°C)	Hasil Perhitungan Manual	Hasil Perhitungan Arduino	Error
1	26.86	29.3	25	25	0
2	26.86	33.2	29.777	29.78	0.003
3	27.35	33.69	32.971	32.97	0.001
4	27.35	34.18	35.283	35.28	0.003
5	27.35	38.58	45.936	45.94	0.004
6	29.3	40.53	50	50	0
7	39.06	42.97	68.563	68.56	0.003
8	39.06	43.46	71.625	71.62	0.005
Rata-rata error					0.002375

Hasil *error* didapatkan dari selisih antara nilai hasil perhitungan manual dan nilai hasil perhitungan Arduino. Untuk perhitungan manualnya, sebagai contoh kita ambil hasil pengujian nomor 4, yaitu dengan nilai suhu 1 = 27.35 °C dan nilai suhu 2 = 34.18 °C.

Langkah pertama yaitu fuzzifikasi. Karena penulis menggunakan kurva trapesium, maka untuk penghitungannya menggunakan persamaan 2.6.

- a. Fuzzifikasi suhu 1 (27.35 °C, berada pada keanggotaan dingin dan normal).

$$x = 27.35 ; a = 24 ; b = 28 ; c = 24 ; d = 28$$

Menghitung linear naik dari keanggotaan normal:

$$\frac{(x-a)}{(b-a)} = \frac{(27.35-24)}{(28-24)} = \frac{3.35}{4} = 0.8375 \text{ (normal)}$$

Menghitung linear turun dari keanggotaan dingin:

$$\frac{(d-x)}{(d-c)} = \frac{(28-27.35)}{(28-24)} = \frac{0.65}{4} = 0.1625 \text{ (dingin)}$$

- b. Fuzzifikasi suhu 2 (34.18 °C, berada pada keanggotaan normal dan hangat).

$$x = 34.18 ; a = 32 ; b = 36 ; c = 32 ; d = 36$$

Menghitung linear naik dari keanggotaan hangat:

$$\frac{(x-a)}{(b-a)} = \frac{(34.18-32)}{(36-32)} = \frac{2.18}{4} = 0.545 \text{ (hangat)}$$

Menghitung linear turun dari keanggotaan normal:

$$\frac{(d-x)}{(d-c)} = \frac{(36-34.18)}{(36-32)} = \frac{1.82}{4} = 0.455 \text{ (normal)}$$

Langkah kedua yaitu inferensi *fuzzy*. Langkah ini menggunakan model Sugeno, maka yang dipakai adalah persamaan 2.8. Hasil dari langkah inferensi ini berdasarkan *rule base* yang sudah penulis jelaskan pada tabel 5.1.

- Jika **Dingin (0.1625)** dan **Normal (0.455)** maka **Pelan (0.1625)**
- Jika **Dingin (0.1625)** dan **Hangat (0.545)** maka **Pelan (0.1625)**
- Jika **Normal (0.8375)** dan **Normal (0.455)** maka **Pelan (0.455)**
- Jika **Normal (0.8375)** dan **Hangat (0.545)** maka **Sedang (0.545)**

Langkah ketiga yaitu defuzzifikasi. Langkah ini menggunakan metode *centroid* model Sugeno. Untuk persamaannya menggunakan persamaan 2.9, dan fungsi keanggotaan defuzzifikasi berdasarkan gambar 5.6.

$$\begin{aligned} \text{Nilai defuzzifikasi} &= \frac{\sum y \times \mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)} \\ &= \frac{(25 \times 0.1625) + (25 \times 0.1625) + (25 \times 0.455) + (50 \times 0.545)}{0.1625 + 0.1625 + 0.455 + 0.545} \\ &= \frac{4.0625 + 4.0625 + 11.375 + 27.25}{1.325} = 35.28300189 = 35.283 \end{aligned}$$

6.2.4 Analisis Pengujian Logika Fuzzy

Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan bahwa antara perhitungan manual dengan perhitungan *fuzzy* oleh Arduino Uno sudah sesuai, meskipun terdapat sedikit perbedaan, hal ini dikarenakan keterbatasan program dalam membaca angka dibelakang koma. Rata-rata *error* mencapai 0.002375, dengan nilai *error* terbesar mencapai 0.005 pada pengujian ke-8 dengan pembacaan sensor suhu 1 sebesar 39.06 °C dan pembacaan sensor suhu 2 sebesar 43.46 °C.

6.3 Pengujian Motor DC

6.3.1 Tujuan Pengujian Motor DC

Pengujian ini dilakukan untuk mencari tahu apakah kecepatan putaran dari motor DC dapat berubah sesuai dengan tingkat persentase kecepatan yang diinginkan. Untuk melihat kecepatan dari motor DC, bisa dilakukan dengan cara

mengamati tegangan keluaran dari *driver* (yang masuk ke dalam motor DC) menggunakan *multimeter*. Pengujian ini menggunakan *hardware* Arduino Uno, sebuah *driver* motor L298N, sebuah motor DC, sebuah *multimeter*, dan sebuah PC.

6.3.2 Prosedur Pengujian Motor DC

Langkah-langkah pengujian motor DC adalah:

1. Hubungkan *driver* motor L298N dengan Arduino Uno.
 - a. Pin +12V *driver* motor dengan adaptor 12V, atau juga bisa dihubungkan dengan pin VIN pada Arduino Uno kemudian berikan tegangan 12V pada Arduino Uno melalui *DC Jack*.
 - b. Pin GND *driver* motor dengan *ground*.
 - c. Pin +5V *driver* motor dengan pin 5V pada Arduino Uno.
 - d. Pin N1 *driver* motor dengan pin 11 pada Arduino Uno (keluaran PWM).
 - e. Pin N2 *driver* motor dengan *ground*.
2. Hubungkan motor DC dengan *driver* motor L298N.
 - a. Kaki (+) motor DC dengan pin OUT1 pada *driver* motor. Kaki (+) ini umumnya berwarna merah.
 - b. Kaki (-) motor DC dengan pin OUT2 pada *driver* motor. Kaki (-) ini umumnya berwarna hitam.
3. *Upload* program pengujian pada Arduino Uno dan berikan tingkat kecepatan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.
4. Ukur tegangan yang masuk ke dalam motor menggunakan *Multimeter*.

Tabel 6.4 dibawah ini merupakan potongan program pengujian motor DC.

Tabel 6.4 Potongan program pengujian motor DC

1	<code>void loop() {</code>
2	<code> driver = map(output, 0, 100, 0, 255);</code>
3	
4	<code> analogWrite(fan, driver);</code>
5	
6	<code> Serial.print("Kecepatan Kipas: ");</code>
7	<code> Serial.print(output);</code>
8	<code> Serial.print("% Driver: ");</code>
9	<code> Serial.print(driver);</code>
10	
11	<code> delay(5000);</code>
12	<code>}</code>

Pada tabel 6.4 variabel *output* diisi dengan nilai kecepatan yang diinginkan.

6.3.3 Hasil Pengujian Motor DC

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai kecepatan yang berbeda, yaitu kecepatan 0%, kecepatan 25%, kecepatan 50%, kecepatan 75% dan kecepatan 100%. Tabel 6.5 dibawah ini merupakan hasil pengujian dari kecepatan motor DC.

Tabel 6.5 Hasil pengujian kecepatan motor DC

No.	Kecepatan	Output Seharusnya (v)	Output Driver (v)	Error
1	0%	0	0	0
2	25%	2.875	2.8	0.075
3	50%	5.75	5.38	0.37
4	75%	8.625	7.73	0.895
5	100%	11.5	9.98	1.52
Rata-rata error				0.572

Karena tegangan yang masuk ke *driver* motor hanya sebesar 11.5 V (tegangan ini diperoleh dari pin VIN pada Arduino Uno), maka diasumsikan tegangan keluaran maksimal adalah 11.5 V. Hasil *output* seharusnya didapatkan dari tegangan maksimal yang masuk ke *driver* motor (11.5 V) lalu dibagi 4 (5 tingkat kecepatan), sedangkan hasil *error* didapatkan dari selisih antara nilai *output* seharusnya dan nilai *output driver*.

6.3.4 Analisis Pengujian Motor DC

Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan bahwa *output* dari *driver* motor tidak bisa 100% seperti yang diharapkan. Hal ini tidak terlalu bermasalah karena rata-rata penyimpangan hasil *output driver* motor hanya sebesar 0.57 V. Penyimpangan terbesar terjadi pada kecepatan 100% dimana nilai *error* mencapai 1.52 V dengan nilai *output* seharusnya 11.5 V dan nilai *output driver* 9.98 V.

6.4 Pengujian Sistem

6.4.1 Tujuan Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berapa waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan panel surya apabila menggunakan sistem pengendali suhu. Pengujian ini menggunakan sistem secara keseluruhan dan sebuah PC.

6.4.2 Prosedur Pengujian Sistem

Tahapan pengujiannya dibedakan menjadi 2 tahap, tahap pengujian tanpa menggunakan sistem pengendali suhu dan tahap pengujian dengan menggunakan sistem pengendali suhu. Yang nantinya hasil dari kedua tahap pengujian ini akan dibandingkan untuk menentukan seberapa besar optimalisasi sistem. Satu kali

pengujian dibatasi maksimal menggunakan waktu 20 menit untuk mengamati perubahan suhunya.

Langkah-langkah pengujian tanpa menggunakan sistem pengendali suhu adalah:

1. Hubungkan sistem yang sudah dirakit sebelumnya (mencakup Arduino Uno, sensor suhu, dan panel surya) dengan PC (untuk *driver* motor dan motor DC tidak dihubungkan dengan sistem).
2. *Upload* program pengujian sistem.
3. Catat suhu yang terbaca, ini dilakukan untuk menentukan besaran suhu awal dari panel surya.
4. Panaskan panel surya hingga mencapai suhu 50 °C.
5. Hitung waktu yang dibutuhkan agar suhu dari panel surya bisa kembali ke suhu awal.
6. Catat suhu terendah yang dapat dicapai panel surya. Perubahan suhu dari panel surya dapat diamati menggunakan *serial monitor*.

Langkah-langkah pengujian dengan menggunakan sistem pengendali suhu adalah:

1. Hubungkan sistem yang sudah dirakit sebelumnya (mencakup Arduino Uno, sensor suhu, *driver* motor, motor DC, dan panel surya) dengan PC.
2. *Upload* program pengujian sistem.
3. Catat suhu yang terbaca, ini dilakukan untuk menentukan besaran suhu awal dari panel surya.
4. Panaskan panel surya hingga mencapai suhu 50 °C.
5. Hitung waktu yang dibutuhkan agar suhu dari panel surya bisa kembali ke suhu awal.
6. Catat suhu terendah yang dapat dicapai panel surya. Perubahan suhu dari panel surya serta tingkat kecepatan kipas dapat diamati menggunakan *serial monitor*.

6.4.3 Hasil Pengujian Sistem

Tabel 6.6 dibawah ini merupakan hasil pengujian dari kerja panel surya tanpa menggunakan sistem pengendali suhu.

Tabel 6.6 Hasil pengujian panel surya 1

No.	Suhu Awal (°C)	Suhu Terendah (°C)	Waktu	Error
1	28.32	28.81	16'27"	0.49
2	29.30	29.30	16'49"	0
3	29.30	29.30	17'18"	0

4	28.81	29.30	16'01"	0.49
5	29.30	29.30	15'56"	0
6	27.35	28.32	14'20"	0.97
7	27.83	28.81	17'44"	0.98
8	28.32	28.81	17'43"	0.49
9	28.81	28.81	17'26"	0
10	28.81	29.30	17'15"	0.49
Rata-rata			16'49"	0.391

Tabel 6.7 dibawah ini merupakan hasil pengujian dari kerja panel surya dengan menggunakan sistem pengendali suhu.

Tabel 6.7 Hasil pengujian panel surya 2

No.	Suhu Awal (°C)	Suhu Terendah (°C)	Waktu	Error
1	28.81	29.30	07'46"	0.49
2	27.83	28.32	06'59"	0.49
3	28.32	28.32	07'20"	0
4	28.32	27.83	07'45"	0 (-0.49)
5	28.81	27.83	07'55"	0 (-0.98)
6	26.86	27.83	07'16"	0.97
7	27.83	27.35	07'20"	0 (-0.48)
8	27.83	27.35	07'51"	0 (-0.48)
9	27.83	28.32	07'21"	0.49
10	28.32	27.35	07'38"	0 (-0.97)
Rata-rata			7'27"	0.244

Hasil *error* didapatkan dari selisih antara nilai suhu awal dan nilai suhu terendah. Jika nilai *error* mencapai minus (-), maka secara langsung target pengujian sudah terpenuhi sehingga nilai *error* dihitung nol (0). Suhu awal adalah nilai suhu dari panel surya pada saat sebelum dipanaskan, sedangkan suhu terendah adalah nilai suhu paling rendah yang dapat dicapai panel surya pada saat didinginkan.

6.4.4 Analisis Pengujian Sistem

Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan bahwa jika menggunakan sistem pengendali suhu, maka rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke suhu awal adalah 7 menit 27 detik dengan rata-rata penyimpangan suhu mencapai 0.244°C . Penyimpangan terbesar terjadi pada pengujian ke-6 dengan suhu awal 26.86°C dan suhu terendah mencapai 27.83°C dengan nilai *error* 0.97°C .

Sedangkan apabila tidak menggunakan sistem pengendali suhu, maka rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke suhu awal adalah 16 menit 49 detik dengan rata-rata penyimpangan suhu mencapai 0.391°C . Penyimpangan terbesar terjadi pada pengujian ke-7 dengan suhu awal 27.83°C dan suhu terendah mencapai 28.81°C dengan nilai *error* 1.46°C .



BAB 7 PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini penulis dapatkan dari hasil yang diperoleh dalam tahap perancangan, implementasi, pengujian dan analisa sistem. Kesimpulan yang pertama adalah pengambilan nilai suhu dari panel surya menggunakan sensor suhu LM35 dan dilakukan setiap 5 detik sekali. Nilai dari sensor suhu LM35 yang semula berupa data mentah kemudian dikonversi kedalam satuan derajat *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$) menggunakan Arduino Uno, dan dengan menggunakan antarmuka Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++.

Sistem ini memiliki beberapa perangkat untuk dapat bekerja, yaitu sensor suhu LM35 sebagai pengambil nilai suhu dari panel surya, Arduino Uno sebagai pemroses data dan logika *fuzzy* yang ditanam ke dalam Arduino Uno sebagai penentu keputusan, *driver* motor sebagai pengendali dari motor DC, serta motor DC (kipas) sebagai alat pendingin dari panel surya. Nilai sinyal analog dari sensor suhu LM35 dikirim ke Arduino Uno melalui pin analog A0 dan A1. Setelah sinyal dari sensor terbaca, maka nilai dari sinyal tersebut selanjutnya akan dikonversi ke dalam bentuk satuan suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan diolah menggunakan logika *fuzzy*. Hasil dari pengolahan oleh logika *fuzzy* ini yang masih berupa persentase kecepatan kipas kemudian dikonversi ke dalam bentuk sinyal digital. Setelah itu sinyal digital tersebut dikirim ke *driver* motor (yang selanjutnya akan diteruskan ke motor DC) menggunakan pin 11 (pin PWM). *Driver* motor merubah sinyal digital dari keluaran Arduino Uno kedalam bentuk sinyal analog (tegangan) agar dapat diterima oleh motor DC dan motor DC dapat dikendalikan.

Sistem ini menggunakan logika *fuzzy* sebagai penentu keputusan. Keanggotaan pada *fuzzy input* dibagi menjadi 5 keanggotaan dikarenakan memiliki rentang yang tidak terlalu jauh antar fungsi keanggotaan. 5 keanggotaan tersebut adalah dingin, normal, hangat, panas, dan sangat panas. Bentuk dari fungsi keanggotaan menggunakan bentuk trapesium dikarenakan dalam penentuan derajat keanggotaan nilai *input* tidak harus selalu beririsan sehingga ada beberapa nilai yang memiliki nilai derajat keanggotaan 1 sehingga diharapkan bisa meminimalisir perhitungan. Sementara itu *Rule base* dijadikan suatu tabel kecepatan untuk menentukan tingkat kecepatan dari motor DC. Tingkat kecepatan motor DC dibagi menjadi 5 tingkat, yaitu 0% (mati), 25% (pelan), 50% (sedang), 75% (cepat), dan 100% (sangat cepat). Untuk mengetahui apakah keluaran dari logika *fuzzy* sudah sesuai dengan perhitungan, maka dilakukan pengujian terhadap logika *fuzzy*. Pengujian dilakukan dengan cara mengambil sampel acak hasil dari keluaran logika *fuzzy* pada Arduino Uno, kemudian masing-masing sampel tersebut dibandingkan dengan hasil dari perhitungan manual. Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan bahwa antara perhitungan manual dengan perhitungan *fuzzy* oleh Arduino Uno sudah sesuai, meskipun terdapat sedikit perbedaan, hal ini dikarenakan keterbatasan program dalam membaca nilai dibelakang koma.

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 20 kali, yaitu 10 kali saat tidak menggunakan sistem dan 10 kali saat menggunakan sistem, dengan waktu pengujian dibatasi 20 menit untuk setiap 1 kali pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara memanaskan panel surya hingga mencapai suhu 50 °C, setelah itu hitung waktu yang dibutuhkan hingga suhu kembali menjadi normal. Sebelum panel surya dipanaskan harus dihitung dahulu berapa suhu yang terbaca, ini dilakukan untuk menentukan besaran suhu awal dari panel surya. Berdasarkan hasil dari 10 kali pengujian pada saat tidak menggunakan sistem dapat diperoleh rata-rata waktu yang dibutuhkan panel surya untuk kembali ke suhu normal adalah 16 menit 49 detik, sedangkan dari 10 kali pengujian pada saat menggunakan sistem dapat diperoleh rata-rata waktu yang dibutuhkan panel surya untuk kembali ke suhu normal adalah 7 menit 27 detik. Berdasarkan dari hasil tersebut diketahui bahwa sistem dapat mengoptimalkan waktu pendinginan suhu dari panel surya hingga 9 menit 22 detik dibandingkan dengan pendinginan suhu panel surya pada saat tidak menggunakan sistem pengendali suhu panel surya.

7.2 Saran

Penulis mempunyai sejumlah saran-saran yang bisa dipergunakan dalam mengembangkan penelitian ataupun untuk sebagai bahan rujukan penelitian selanjutnya yang mengangkat tema tentang panel surya berdasarkan dari kesimpulan yang ada. Beberapa saran dari penulis adalah:

1. Karena sensor suhu LM35 ini masih merupakan sensor suhu yang belum terlalu stabil, penulis menyarankan untuk mengkalibrasi sensor suhu LM35 lebih lanjut.
2. Agar mendapatkan hasil yang lebih optimal, penulis menyarankan untuk meminimalisasi daya yang dikonsumsi oleh sistem.
3. Bagi masyarakat yang telah menggunakan panel surya sebagai sumber energi alternatif, penulis menyarankan agar sistem pengendali suhu ini diterapkan agar dapat mengoptimalkan energi yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adda, 2008. *AD6020(T) Series*. [online] Adda Corporation. Tersedia di: <[http://www.adda.com.tw/data/file/AD6020\(T\).pdf](http://www.adda.com.tw/data/file/AD6020(T).pdf)> [Diakses 6 Agustus 2018].
- Afifudin, F., dan Hananto, F.S., 2012. *Optimalisasi Tegangan Keluaran dari Solar Cell Menggunakan Lensa Pemfokus Cahaya Matahari*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Arduino, 2018. *Arduino Uno Rev3*. [online] Tersedia di: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>> [Diakses 6 Agustus 2018].
- Arduino, 2018. *ATmega168/328P-Arduino Pin Mapping*. [online] Tersedia di: <<https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>> [Diakses 6 Agustus 2018].
- Arduino, 2018. *PWM*. [online] Tersedia di: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>> [Diakses 6 Agustus 2018].
- HandsOn Tech, 2008. *L298N Dual H-Bridge Motor Driver*. [online] HandsOn Technology Inc. Tersedia di: <<http://www.handsontec.com/dataspecs/L298N%20Motor%20Driver.pdf>> [Diakses 6 Agustus 2018].
- Muchammad, Yohana, E., dan Heriyanto, B., 2010. *Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 0°, 50°, 60°, 70°, 80°*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Nyebat Ilmu, 2017. *Tutorial Arduino mengakses driver motor L298N* [online]. Tersedia di: <<https://www.nyebartilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-driver-motor-l298n/>> [Diakses 23 Desember 2017].
- Ogata, K., 2010. "Modern Control Engineering", Vol. 5. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Putri, S.I., Suyono, H., dan Hasanah, R.N., 2014. "Rancang Bangun dan Optimasi Panel Surya Berpenjejak dengan Logika Fuzzy Takagi-Sugeno", Jurnal EECCIS Vol. 8, No. 1, Juni 2014.
- Ramdhani, I., et al, 2012. *Fuzzy Inference System Dengan Metode Sugeno Untuk Penentuan Banyaknya Asisten Laboratorium yang Diterima Pada Saat Rekrutmen*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Panel Surya, 2017. *Panel Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya* [online]. Tersedia di: <<http://www.panelsurya.com/>> [Diakses 5 Agustus 2018].
- Panel Surya, 2017. *Solar Cells Panel* [online]. Tersedia di: <<http://www.panelsurya.com/index.php/id/panel-surya-solar-cells/solar-cells-panel-guide>> [Diakses 5 Juni 2017].

- Saelan, A., 2009. *Logika Fuzzy*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setyawan, G.E., 2014. *Logika Fuzzy*. Malang: Perkuliahan Sistem Kendali Otomatis.
- Solikin, F., 2011. *Aplikasi Logika Fuzzy dalam Optimisasi Produksi Barang Menggunakan Metode Mamdani dan Metode Sugeno*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Steven, 2017. *Motor DC Dan Jenis-jenisnya* [online]. Tersedia di: <<http://scdc.binus.ac.id/himtek/2017/05/08/motor-dc-dan-jenis-jenisnya/>> [Diakses 17 Februari 2018].
- Suwandi, Irawan, M.I., dan Mukhlash, I., 2011. *Aplikasi Sistem Inferensi Fuzzy Metode Sugeno Dalam Memperkirakan Produksi Air Mineral Dalam Kemasan*. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Texas Instruments, 1999. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. [online] Texas Instruments Inc. Tersedia di: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>> [Diakses 6 Agustus 2018].
- Widiatmoko, Y., 2013. *Prototipe Pemanfaatan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomatisasi Lampu Penerangan Taman*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wijaya, Z.P., 2015. *Perancangan Set Up Karakterisasi Panel Surya*. Tanjungpinang: Universitas Maritim Raja Ali Haji.